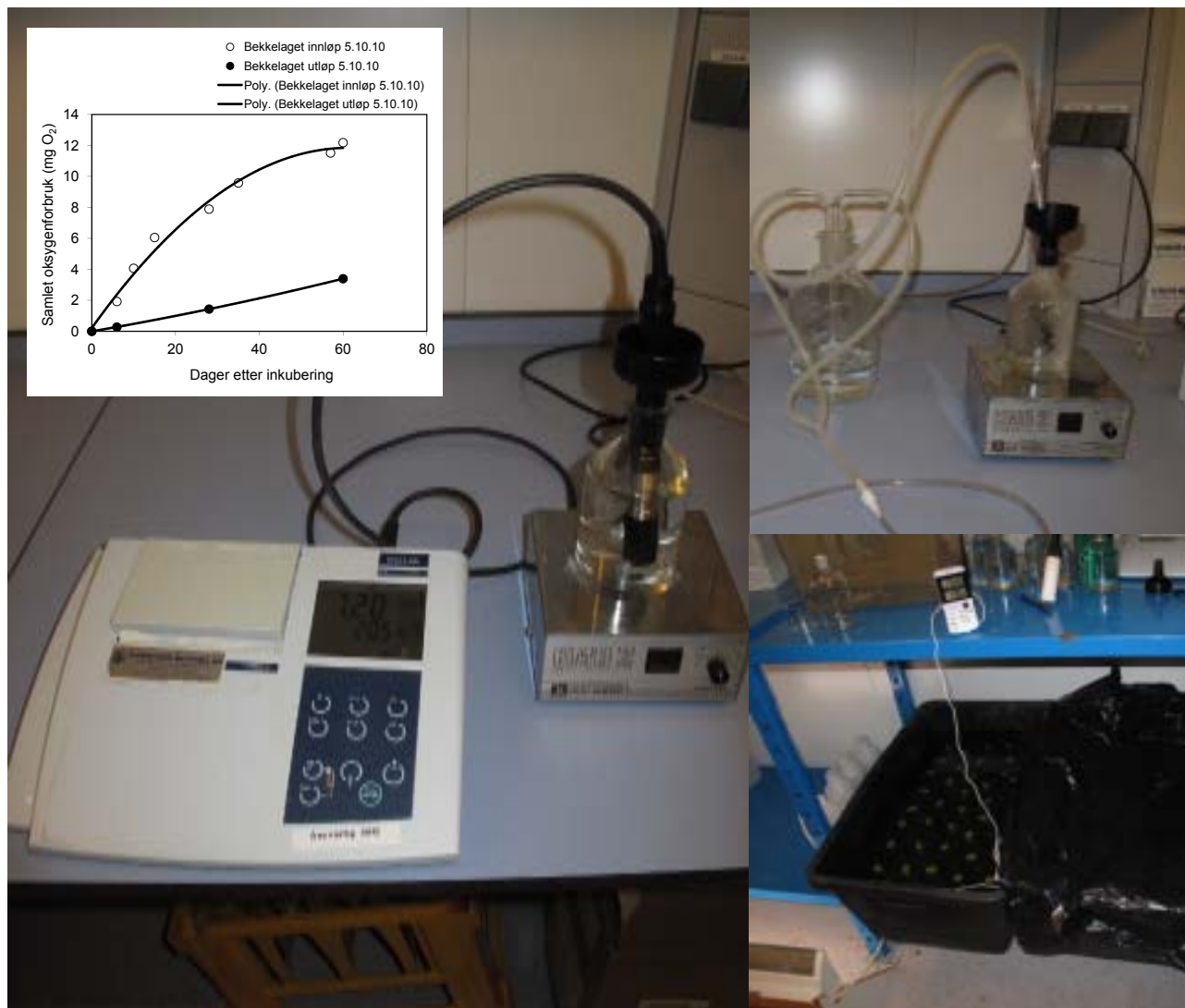
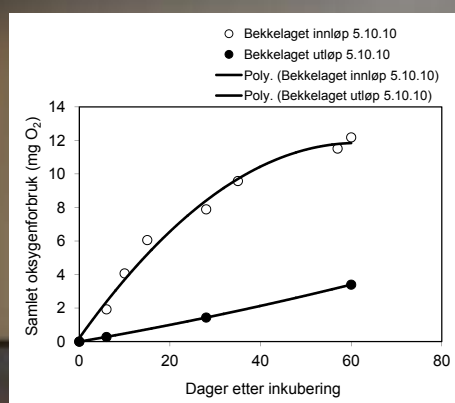


Bestemmelse av totalt organisk oksygenforbruk fra organisk stoff som tilføres Indre Oslofjord via renseanlegg og elver. Fagrådsrapport 111.



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge


Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------|
| Tittel Bestemmelse av totalt organisk oksygenforbruk fra organisk stoff som tilføres Indre Oslofjord via renseanlegg og elver. Fagrådsrapport 111. | Løpenr. (for bestilling) | Dato |
| | 6229-2011 | 10.10.2011 |
| Forfatter(e) Aina Charlotte Wenneberg, Christian Vogelsang og Helge Liltved | Prosjektnr. Undernr. | Sider Pris |
| | 10344 | 39 |
| | Fagområde | Distribusjon |
| | Nedbrytning | Fritt |
| | Geografisk område | Trykket |
| | Indre Oslofjord | NIVA |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Oppdragsgiver(e) Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord | Oppdragsreferanse Mette Britt Sunde |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sammendrag Det spesifikke totale oksygenforbruket for organisk stoff ($\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$) i vannprøver fra de to største renseanleggene, og fra tre større elver under ulik vannføring har blitt bestemt i laboratorietester med sjøvann og marine bakterier over 60 døgn. $\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$ (g O_2 /g C) ble videre brukt sammen med vannføringen og innholdet av organisk stoff til å estimere de samlede utslippene av oksygenforbrukende organisk stoff (TOF_{OC}) til fjorden fra de største elvene, renseanleggene og overløp. Resultatene ble sammenlignet med verdier kommet fram i utarbeidelsen av Fagrådets Strategi 2010, samt med verdier som ligger inne i NIVAs Oslofjordmodell brukt til å modellere oksygenforholdene i Indre Oslofjord. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fire norske emneord 1. Spesifikt oksygenforbruk 2. Mikrobiologisk nedbrytning 3. Organisk stoff 4. Indre Oslofjord | Fire engelske emneord 1. Specific oxygen consumption 2. Microbial degradation 3. Organic matter 4. Inner Oslo fjord |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



Helge Liltved
Prosjektleder



James Dedric Berg
Direktør for teknologi og innovasjon

**Bestemmelse av totalt organisk oksygenforbruk fra
organisk stoff som tilføres Indre Oslofjord via
renseanlegg og elver**

Fagrådsrapport 111

Forord

Arbeidet som presenteres her er gjort på oppdrag for Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord. Det er gjort som en oppfølging av anbefalinger framkommet ved utarbeidelsen av Strategiplanen for Fagrådets langtidsplanlegging av arbeidet som skal gjøres for å møte utfordringene blant annet befolkningsveksten og klimaendringene vil kunne gi vannmiljøet i Indre Oslofjord. Det har vært store usikkerheter knyttet til oksygenforbruket ved nedbrytningen av det organiske stoffet som slippes ut via elver og renseanlegg m/overløp, og dette har vært et forsøk på å estimere dette bedre.

Vi takker for Fagrådet for tilliten og for all hjelp vi har fått fra VEAS og Bekkelaget renseanlegg ved innsamling av prøver med tilhørende måledata, samt Vann- og avløpsetatene i kommunene Oslo, Bærum, Oppegård og Røyken for velvillighet ved overlevering av måledata.

Oslo, 10. oktober 2011

Christian Vogelsang

Innhold

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Sammendrag | 5 |
| 1. Bakgrunnstall | 7 |
| 1.1 Tall for tilførsler av organisk stoff til fjorden hentet fra Strategiplanen - Prosjektets bakteppe | 7 |
| 1.2 Forventet variasjon i tilførslene av TOC | 9 |
| 2. Estimering av potensielt totalt oksygenforbruk pga TOC-tilførsler fra renseanlegg og elver | 14 |
| 2.1 Prøvetaking i renseanlegg og elver | 15 |
| 2.2 Analyse av totalt organisk karbon | 17 |
| 2.3 Bestemmelse av spesifikt totalt oksygenforbruk fra organisk karbon ($\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$) | 17 |
| 2.4 $\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$ i vann fra renseanlegg og elver | 18 |
| 3. Vurdering av feil og usikkerheter | 24 |
| 3.1 Har vi bestemt endelig oksygenforbruk? | 24 |
| 3.2 Analyse- og måleusikkerhet | 25 |
| 4. Konklusjon | 26 |
| Vedlegg A. Prøvetakingspunkter i elvene | 28 |
| Vedlegg B. Næringssalter benyttet i bestemmelsen av TOF_{OC} | 29 |
| Vedlegg C. Bestemmelse av potensielt oksygenforbruk i prøver fra renseanlegg og elver - rådata | 30 |

Sammendrag

Det spesifikke totale oksygenforbruket for organisk stoff ($\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$) i vannprøver fra de to største renseanleggene, og fra tre større elver under ulik vannføring har blitt bestemt i laboratorietester med sjøvann og marine bakterier over 60 døgn. $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ ($\text{g O}_2/\text{g C}$) ble videre brukt sammen med vannføringen og innholdet av organisk stoff til å estimere de samlede utslippene av oksygenforbrukende organisk stoff (TOF_{OC}) til fjorden fra de største elvene, renseanleggene og overløp. Resultatene ble sammenlignet med verdier kommet fram i utarbeidelsen av Fagrådets Strategi 2010, samt med verdier som ligger inne i NIVAs Oslofjordmodell brukt til å modellere oksygenforholdene i Indre Oslofjord.

Det målte oksygenforbruket i vannprøvene antyder store forskjeller mellom tidligere antatt oksygenforbruk og det som fremkommer i denne undersøkelsen.

De viktigste funnene for renseanleggene:

- Ved tørrværsavrenning er $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ -verdien for utløpet fra VEAS ($1,0 \text{ g O}_2/\text{g C}$) ca. 2x høyere enn for utløpet fra Bekkelaget RA ($0,5 \text{ g O}_2/\text{g C}$).
- TOF_{OC} -utslippet fra Bekkelaget RA er i størrelsesorden 6-8 % av TOF_{OC} -utslippet fra VEAS. Utslipet av TOF_{OC} fra VEAS så ut til å være ca. 80 % av det som ble estimert tidligere (Strategiplanen), men ca. halvparten av det som ligger inne i Oslofjordmodellen. For utslippet fra Bekkelaget ligger de tidligere estimatene ca. dobbelt så høyt, mens det som ligger inne i Oslofjordmodellen er i størrelsesorden 5 x høyere.
- Under kraftig regnvær med en fremmedvannmengde på ca. 50 %, forble $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ -verdien for rensed vann fra VEAS tilnærmet uforandret, mens det ble estimert en $\text{TOF}_{\text{OC,kjem,spes}}$ for det kjemiske rensetrinnet på Bekkelaget RA som var vesentlig høyere enn $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ for det biologisk-kjemiske rensetrinnet (normalt behandles alt vannet biologisk-kjemisk, men når kapasiteten til denne rensingen overskrides blir det overskytende behandlet kun kjemisk). Når 33 % av vannet ble behandlet kjemisk var denne på $1,02 \text{ g O}_2/\text{g C}$, mens den økte til $1,86 \text{ g O}_2/\text{g C}$ når den kjemiske kapasiteten var fullt utnyttet.
- $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ -verdien i innløpene til renseanleggene er 3-5 ganger høyere enn utløpet. Disse ble brukt til å estimere overløpsutslippene av TOF_{OC} , som så ut til å være 0,7-2,3 ganger høyere enn estimert for overløpet over rist på Bekkelaget, mens det lå 70 % under det som ligger inne i Fjordmodellen for Lysaker (etter innføringen av Regnvannrensseanlegget i 2008). TOF_{OC} -utslippet så ut til å ha vært ca 5x høyere enn tidligere estimert for Lysakeroverløpet før 2008.

De viktigste funnene for elvene:

- For Alna/Loelva og Sandvikselva ble $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ -verdien 2-3-doblet under vårløsningen sammenlignet med tørrværsavrenningen. Det var interessant å se at $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ -verdien for Gjersjøelva, som i stor grad drenerer jordbruksområder, ikke så ut til å endres med vårløsningen. Årsaken ligger sannsynligvis å finne i påvirkningen fra oppholdet i Gjersjøen.
- $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ -verdien for elvene var langt lavere enn de antagelsene som var gjort tidligere tilsa, og TOF_{OC} -utslippet fra de enkelte elvene så derfor også ut til å være vesentlig lavere enn de tidligere estimatene anslo, spesielt verdiene som ligger inne i Fjordmodellen. Dette gjaldt ikke minst for Gjersjøelva, som har et nesten merkelig lavt årlig utslipp ($<1-2 \%$ av tidligere estimer).

Sammenligning med KOF-verdier for enkelte prøver, der disse er tilgjengelige sammen med TOC-verdiene, antyder at det meste av det organiske stoffet i prøvene hadde blitt brutt ned. De estimerte $\text{TOC}_{\text{OC,spes}}$ -verdiene skulle derfor stemme rimelig godt, i hvert fall for avløpsvannprøvene.

Det anbefales at studien følges opp med en nærmere undersøkelse av den underliggende årsaken til den store forskjellen i spesifikt oksygenforbruk for det organiske stoffet i behandlet vann ut fra VEAS og Bekkelaget RA, og at det gjennomføres et måleprogram med måling av KOF sammen med vannføringsmålinger i de største tilførselselvene.

Summary

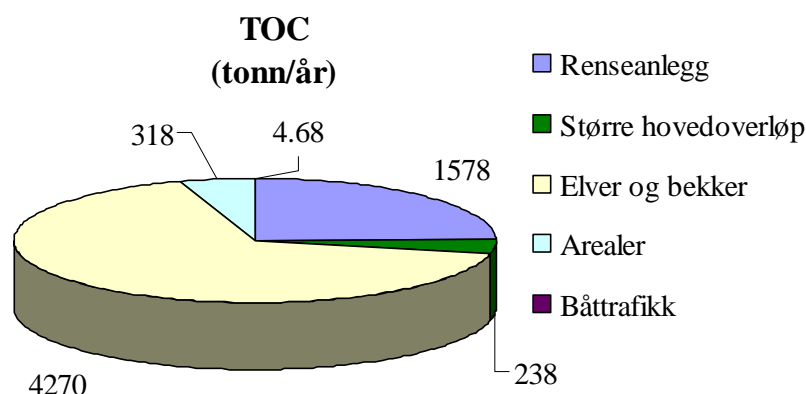
The specific total oxygen consumption connected to organic matter ($\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$) in water samples from the two largest wastewater treatment works in the Oslo area, and from three larger rivers during different water flows have been determined in laboratory tests with seawater and marine bacteria over a 60 day period. $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ ($\text{g O}_2/\text{g C}$) was further used together with the water flow and the content of organic matter to estimate the total discharges of oxygen consuming organic matter ($\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$) to the fjord from the largest rivers, the wastewater treatment works and sewer overflows. The results were compared with values used in the Strategy plan 2010 for the Council for water and sanitation cooperation in the Inner Oslofjord (Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord), as well as values in the NIVA Oslofjord model used to model the oxygen consumption and vertical profiles in the Inner Oslofjord.

The measured oxygen consumption in the water samples indicates large discrepancies between earlier assumed oxygen consumption and what is revealed in this assessment.

1. Bakgrunnstall

1.1 Tall for tilførsler av organisk stoff til fjorden hentet fra Strategiplanen - Prosjektets bakteppe

De største tilførslene av organisk stoff til Indre Oslofjord kommer fra renseanleggene, inkludert overløp på ledningsnett, og elvene. Se **Figur 1**, hentet fra Strategiplanen (Vogelsang m.fl. 2010).



Figur 1. Estimerte årlige gjennomsnittstilførsler av organisk karbon (TOC) via ulike transportveier til Indre Oslofjord (Vogelsang m.fl. 2010).

Ved utarbeidelsen av Strategiplanen ble det estimert et potensielt oksygenforbruk, som disse tilførslene av organisk stoff (og nitrogen og fosfor) bidrar til i de dypere lag (<20 m eller <50 m) av fjorden. Estimaten ble basert på en enkel modell utviklet av Baalsrud m.fl. (1986), som senere også dannet grunnlaget for NIVAs Oslofjordmodell (Bjerkeng, 1994). I modellen inngår organisk stoff som tilførsler av totalt organisk karbon (TOC). For renseanleggene ble gjennomsnittet av de rapporterte årsverdier for rensed utslipp og overløp for årene 2004-2008 (VEAS) og 2002-2008 (Bekkelaget RA) lagt til grunn for estimatene. På VEAS måler de TOC, men på Bekkelaget, hvor de måler biokjemisk oksygenforbruk (BOF₅) på utløpet, ble det estimert et TOC-utslipp med rensed avløpsvann ut fra BOF₅-verdiene og et forholdstall mellom BOF₅ og TOC på 1,053 for biologiske anlegg med simultanfelling (Hovin og Paulsrud, 1983). Det forelå ikke BOF₅-data for overløpene på Bekkelaget RA, så der ble TOC-utslippene i overløp estimert ut fra forholdet mellom total-N og TOC i innløpet til VEAS (for perioden 2005-2008). I ettertid ser vi at måleverdiene for kjemisk oksygenforbruk (KOF) i innløpet til Bekkelaget RA nok med fordel kunne vært benyttet til dette. De beregnede verdiene for tilførsler av TOC fra renseanleggene er vist i **Tabell 1**.

Det ble funnet svært lite tallmateriale som kunne gi gode estimater for tilførslene av organisk stoff via elvene. I årsrapportene fra Vann- og avløpsetatene i de enkelte kommunene var det i hovedsak fokusert på næringssalter og fekal forurensning, men det var oppgitt TOC-data for noen innsjøer/vann. Disse lå for alle sentrale vann på ca 5 mg C/l. De største elvene inngår i elveovervåkningsprogrammet (RID) til Klif, men alle RID-dataene for elvene i området er basert på modellberegninger. Gjennomsnittlige og maks-, min-verdier for elvetilførslene ble derfor estimert på bakgrunn av oppgitte RID-verdier for de enkelte elvene, tallmaterialet (årlige tilførsler) som ligger inne i NIVAs

Oslofjordmodell for de elvene der disse kunne isoleres og estimerte tilførsler basert på årlige vannføringsdata og en antatt TOC-konsentrasjon på 5 mg C/l. De beregnede verdiene for tilførsler av TOC fra de største elvene er vist i **Tabell 1**. Her er også tilførselsdatagrunnlaget som ligger inne i Oslofjordmodellen vist.

Som det vil fremgå av neste underkapittel, sitter kommunene likevel på en del TOC-data for elvene. Disse vil senere i rapporten bli brukt til å gjøre en samlet vurdering av tilførslene av TOC til Indre Oslofjord via elvene.

Tabell 1. Tilførsler av TOC fra de tre største renseanleggene, hovedoverløpene og de største elvene slik de framgår i Strategiplanen (Vogelsang m.fl., 2010). Estimert tilhørende oksygenforbruk ved antagelse om en andel på 60 % biotilgjengelig og et oksygenforbruk på 2,4 g O₂/g C. I Oslofjordmodellen er det antatt at 2,6 % av det organiske stoffet er inert og det er benyttet en faktor på 2,67 g O₂/g C for oksygenforbruket.

| | NIVAs fjordmodell | | Tilførsler av TOC | | | Oksygenforbruk | | |
|----------------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------------|--------------|-------------|
| | tonn C/år | tonn O ₂ /år | Snitt | Maks | Min | Snitt | Maks | Min |
| | | | tonn C/år | | | Tonn O ₂ /år | | |
| VEAS | 1246 | 3240 | 1359 | 1670 | 1145 | 1957 | 2405 | 1649 |
| Bekkelaget RA | 200 | 520 | 149 | 178 | 96 | 215 | 256 | 138 |
| Nordre Follo RA | 25 | 65 | 34 | 38 | 29 | 49 | 55 | 42 |
| Lysakeroverløp før 2008 | - | - | 128 | 242 | 50 | 184 | 348 | 72 |
| Lysakeroverløp etter 2008 ¹ | 141 | 367 | 0,85 | 1,61 | 0,33 | 1 | 2 | 0 |
| Overløp Bekkelaget o/rist | 63 | 164 | 86 | 169 | 32 | 124 | 243 | 46 |
| Årungelva | 595 | 1547 | 372 | 595 | 148 | 535 | 857 | 213 |
| Gjærjelva | 1430 | 3719 | 871 | 1430 | 311 | 1254 | 2059 | 448 |
| Ljanselva | 185 | 481 | 154 | 165 | 142 | 221 | 238 | 204 |
| Loelva/Alna ² | 808 | 2101 | 863 | 918 | 808 | 1243 | 1322 | 1164 |
| Lysakerelva ³ | 616 | 1602 | 662 | 616 | 708 | 953 | 1020 | 887 |
| Sandvikselva | | | 658 | 658 | 658 | 948 | 948 | 948 |
| Åroselva | 1450 | 3771 | 426 | 487 | 365 | 613 | 701 | 526 |
| Samlet | 6759 | 17577 | 5761 | 7260 | 4400 | 8296 | 10454 | 6336 |

¹ Tall fram til oktober 2009

² Inkluderer også Akerselva, Frognerelva og Hovinbekken

³ Inkluderer også Hoffselva og Mærradalsbekken

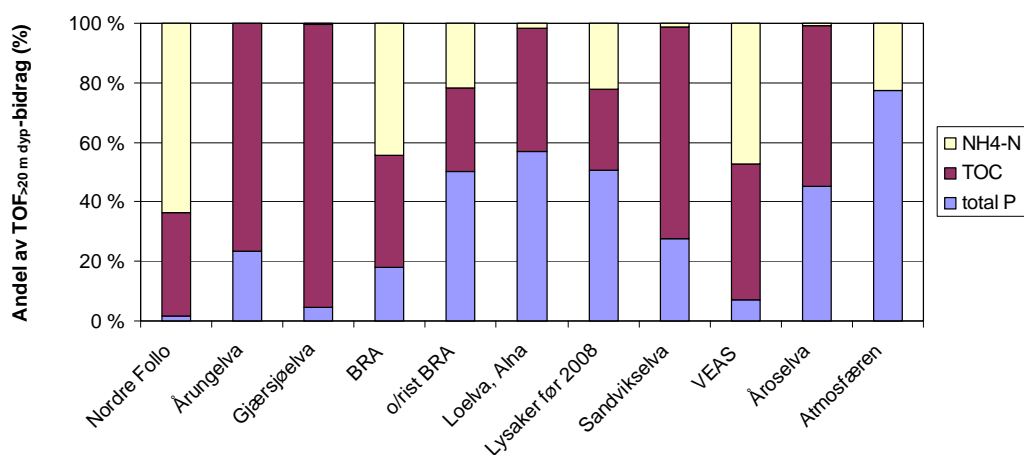
Når det organiske stoffet kommer ut i fjorden vil (i hovedsak) bakteriene i sjøvannet kunne benytte seg av dette stoffet som energikilde (med eller uten forutgående hydrolyse) med et forbruk av oksygen som ett resultat (og dannelsen av CO₂). For enkelhets skyld ble det gjort to sentrale antagelser:

- 60 % av alt organisk stoff som tilføres fjorden er tilgjengelig for bakteriell omsetning, uansett opphav.
- I samsvar med Baalsrud m.fl. (1986); for hvert g C som oksideres går det med 2,4 g oksygen.

Det hadde nok vært naturlig å sette den omsettbare andelen høyere for overløpene. Oksygenforbruket per g C må også sies å være et relativt usikkert tall, selv om Henze m.fl. (2002) angir det gjennomsnittlige oksygenforbruket for de fire hovedgruppene av forbindelser som ankommer kommunale avløpsrenseanlegg (karbohydrater, fett, proteiner og annet organisk stoff) til 2,26-2,82 g O₂/g C. Det kan forventes at den andelen av det organiske stoffet som er tyngst nedbrytbart, og derfor akkumuleres i utslippet fra renseanlegg, trenger mer oksygen for fullstendig nedbrytning enn gjennomsnittet. Det estimerte oksygenforbruket fra organisk stoff fra de største renseanleggene,

overløpene og elvene gitt de to antagelsene er vist i ytterste høyre kolonne i **Tabell 1**. De tilsvarende tallene som ligger inne i Oslofjordmodellen er også vist. Kort beskrevet antas det at en viss fraksjon (2,6 %) av det organiske stoffet sedimenterer og over tid dekkes av nye sedimenter slik at de i praksis ikke lenger bidrar til oksygenforbruk i fjorden (Bjerkeng, pers.med.). Resten av TOC brytes ned over tid, og det er lagt inn et teoretisk oksygenforbruk på 2,67 g O₂ per g C ut fra en enkel kjemisk formel: $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Som det går fram av **Tabell 1** er oksygenforbruksestimatene for organisk stoff vesentlig høyere i Oslofjordmodellen, hovedsakelig forårsaket av antagelsen at nær alt TOC brytes ned.

De store usikkerhetene knyttet til både de kvantitative tilførselene av organisk stoff og det faktiske oksygenforbruket disse tilførselene fører til ute i fjorden danner bakteppet for dette prosjektet. Og betydningen det organiske stoffet er gitt i estimatene for det totale oksygenforbruket (TOF) ute i fjorden kan til en viss grad leses av **Figur 2**, der fordelingen mellom ammonium, total-fosfor og organisk stoff for samlet TOF for de 11 antatt største tilførselskildene er gitt. For de fleste elvene er bidraget fra organisk stoff på 50-95 %, men det ligger på ca 40 % for de to største renseanleggene og den sterkt avløpspåvirkede Loelva.



Figur 2. Estimert bidragsandel fra NH₄-N, organisk stoff (TOC) og total P til TOF > 20 m dyp fra hver enkelt kilde som utgjør mer enn 1,5 % av den samlede TOF-belastningen under 20 m.

1.2 Forventet variasjon i tilførselene av TOC

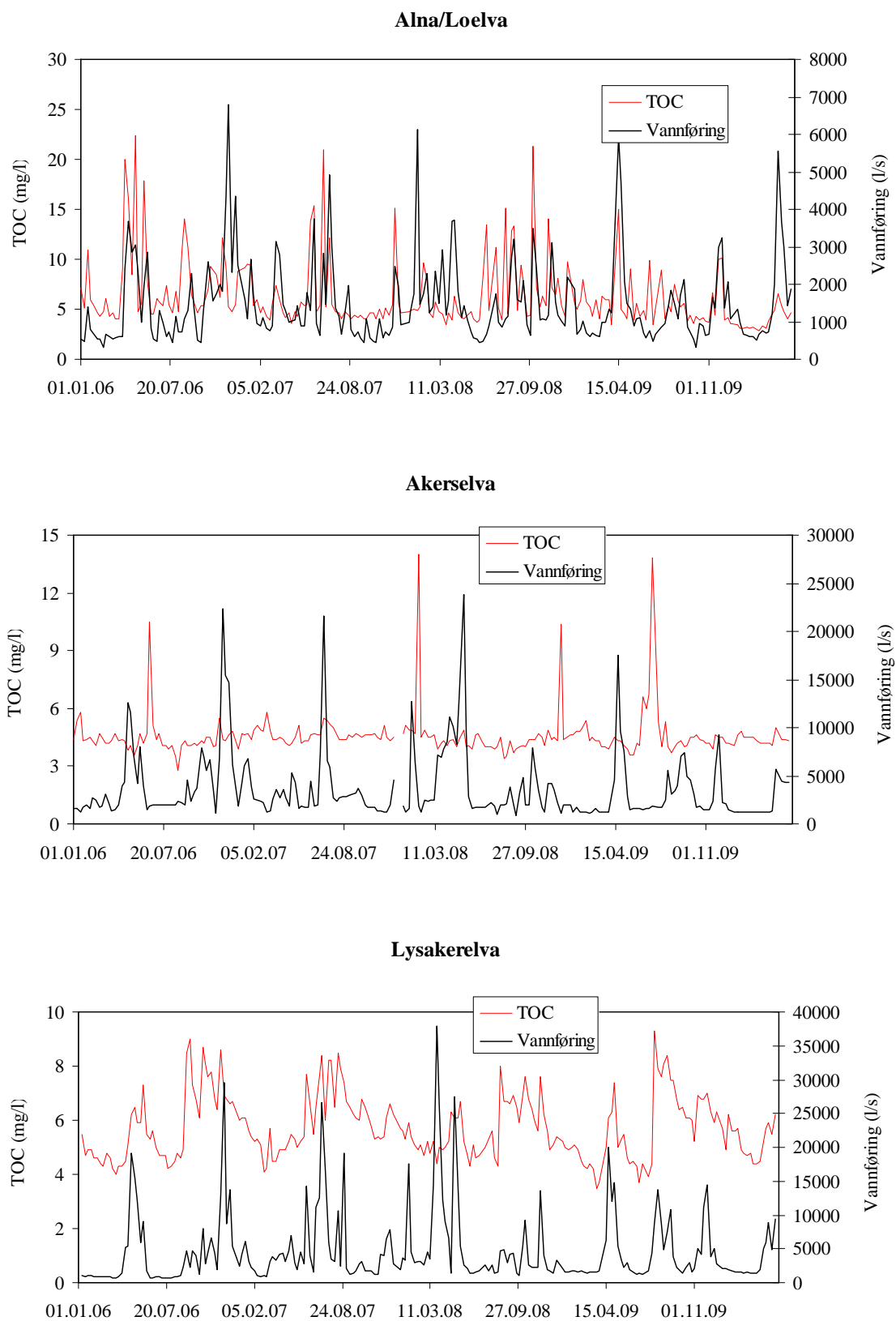
I forbindelse med dette prosjektet ble det samlet inn TOC- og vannføringsdata fra kommunene for elvene med de forventet største bidragene av TOC til fjorden. Dette er data, som ikke lå tilgjengelig gjennom årsrapportene, men som nå vil gjøre de videre estimatene langt bedre enn først antatt.

Figur 3 og 4 viser hvordan TOC-konsentrasjonen og den (normalt ukesmidlere) vannføringen har variert i de enkelte elvene gjennom den perioden vi har tilgjengelig data for. Det ser ut til å være en viss samvariasjon mellom vannføringen og TOC-konsentrasjonen i de fleste elvene. For Akerselva ser det av en eller annen grunn ikke ut til å være noen slik samvariasjon, men siden konsentrasjonstoppene ser ut til å falle utenfor flomtoppene, får de mindre betydning. I **Figur 5** er tilførselsmengden per uke plottet mot vannførselen og kurven for første ordens lineærtilpasning av dataene er lagt inn. Det gode samsvaret ($R^2 = 0,94-0,97$) mellom tilført mengde TOC og vannføringen for de fleste elvene antyder at vannføringen kan benyttes som støtteparameter for å estimere TOC-tilførselene der TOC-data mangler for disse elvene. Loelva er den elva hvor man ser den klareste sammenhengen mellom økt TOC-tilførsel og økt vannføring (se **Figur 6**), men tilførselsøkningen er ikke lik hver gang, noe som gjør at det er vanskelig å forutse hvor stor tilførselen vil bli ut fra vanntilførselen (jfr. **Figur 5**). Det var ingen

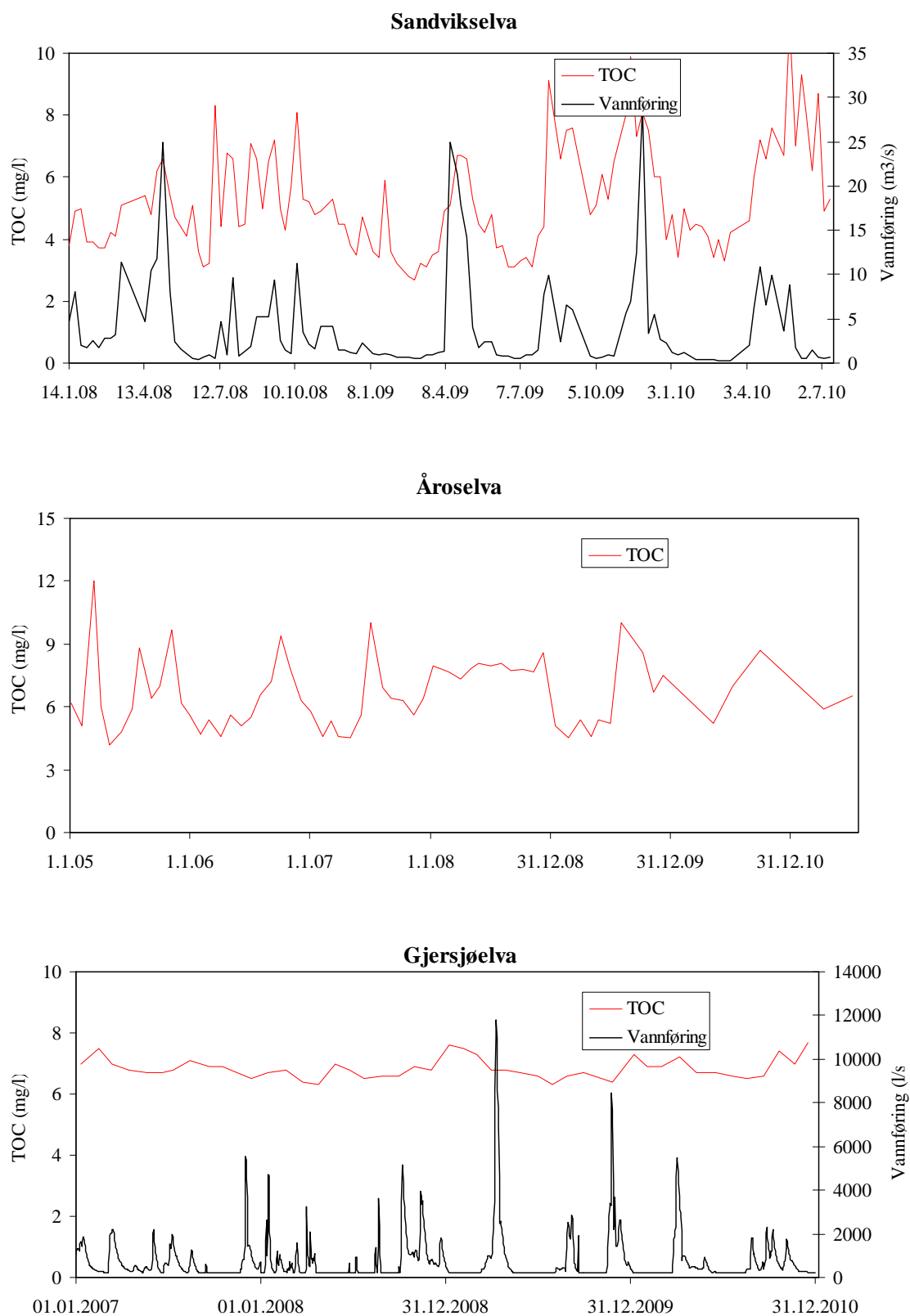
klar tendens heller ved oppsplitting i vårperiode (april-mai), senhøstperiode (oktober-desember) og øvrige måneder (resultatene er ikke vist). For Gjersjøelva var den logførte vannføringen usannsynlig lav ($<1 \text{ m}^3/\text{d}$) i enkelte perioder, så her ble det satt en fiktiv minstevannføring på $20 \text{ m}^3/\text{d}$.

For avløpsrenseanleggene del er det naturlig å anta at det vil være hva slags behandling avløpsvannet får som vil ha størst betydning for hvor mye, og hva slags, organisk stoff som slippes ut. De vil således være kapasitetsgrensen til de ulike rensetrinnene på anleggene som bestemmer dette.

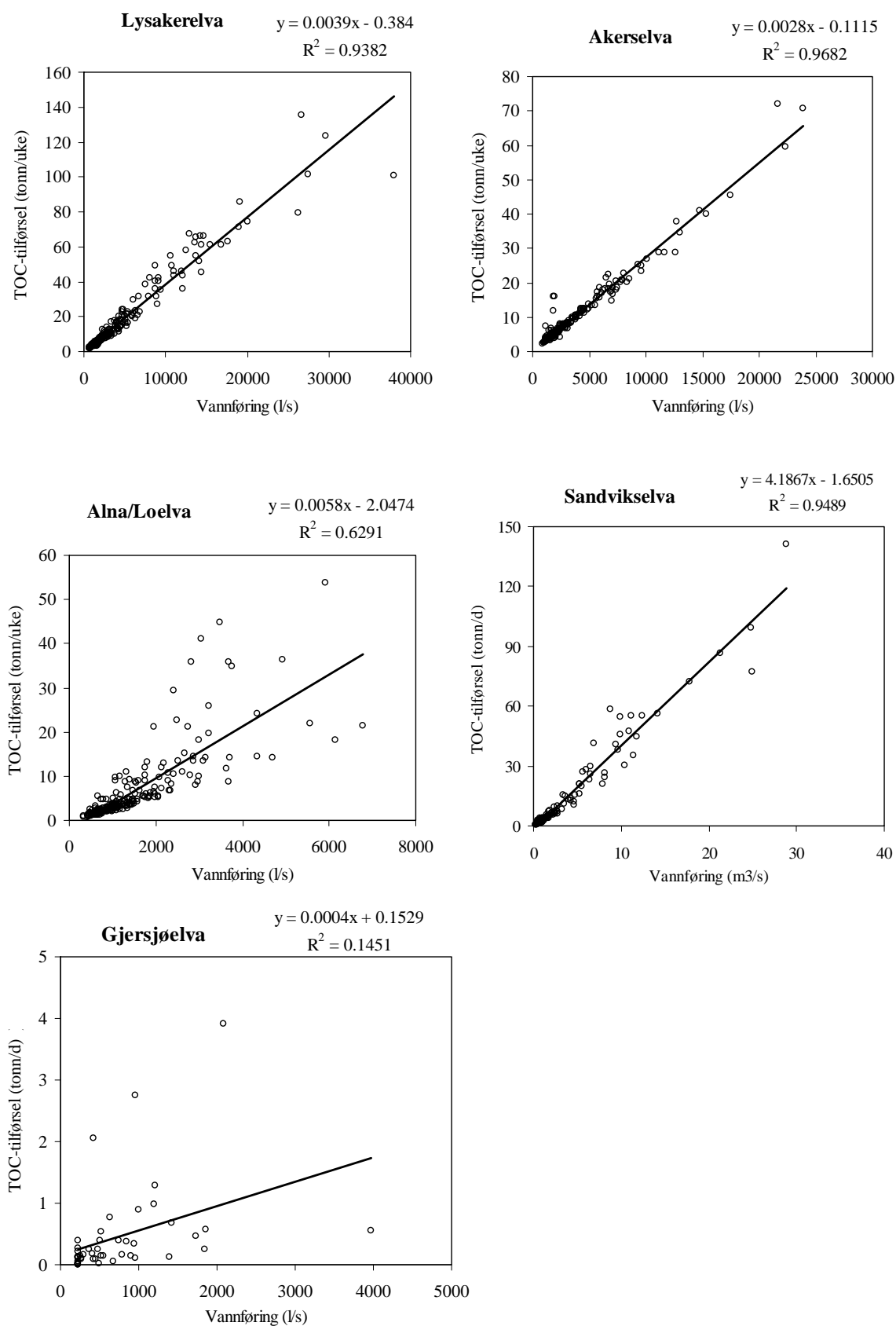
I det følgende skal vi forsøke å estimere det reelle forventede oksygenforbruket knyttet til utslipp av organisk stoff til fjorden.



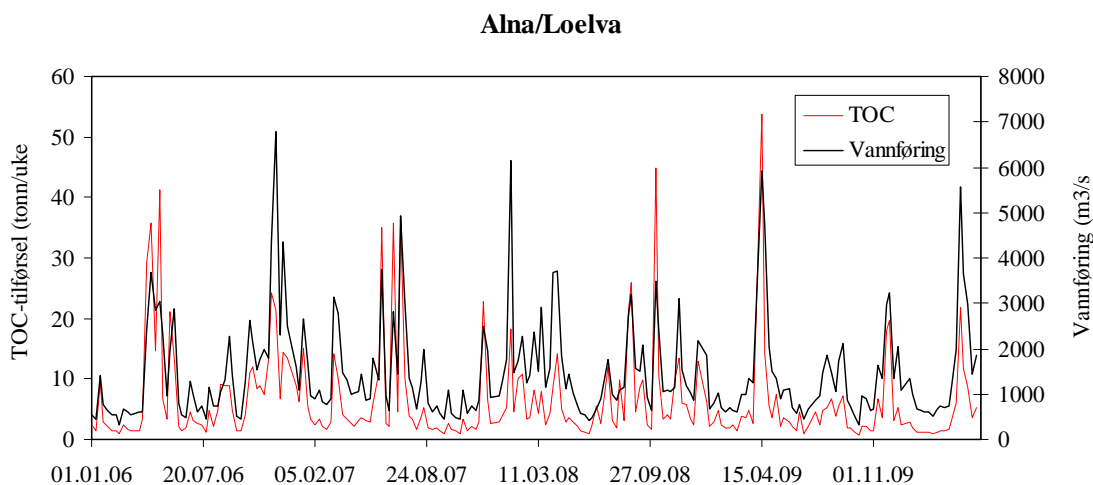
Figur 3. Vannføring og TOC-konsentrasjon i Loelva, Akerselva og Lysakerelva. Data fra Oslo kommune.



Figur 4. Vannføring og TOC-konsentrasjon i Sandvikselva, Gjersjøelva og Åroselva (kun TOC). Data fra kommunene Bærum og Røyken, samt NIVAs egne måledata for Gjersjøelva.



Figur 5. Forholdet mellom tilført mengde TOC per uke og gjennomsnittlig vannføring i samme uke for elvene Lysakerelva, Akerselva, Loelva, Sandvikselva og Gjersjøelva.



Figur 6. Tilført mengde TOC per uke og gjennomsnittlig vannføring i 2006-2010. Data fra Oslo kommune.

Tabell 2. Samlet estimert tilførsel av organisk stoff basert på tilgjengelige måleverdier for TOC- og vannføring.

| | Lysakerelva | Akerselva | Alna/Loelva | Sandvikselva | Åroselva ¹ | Årungselsva | Gjersjøelva |
|------|-------------|-----------|-------------|--------------|-----------------------|-------------|-------------|
| | tonn/år | | | | | | |
| 2010 | 540 | 308 | 220 | 601 | 463 | - | 125 |
| 2009 | 920 | 438 | 273 | 1110 | 437 | - | 212 |
| 2008 | 1043 | 616 | 374 | 725 | 524 | - | 159 |
| 2007 | 1004 | 487 | 327 | - | 399 | - | 170 |
| 2006 | 892 | 603 | 424 | - | 409 | - | - |

¹ Mangler vannføringsmålinger for Åroselva, så estimatet er basert på forventet årlig vannføring hentet fra NVE Atlas (<http://atlas.nve.no/>). Mangler TOC-data for Årungselsva.

2. Estimering av potensielt totalt oksygenforbruk pga TOC-tilførsler fra renseanlegg og elver

Hovedmålsetningen for dette prosjektet er å få et estimat for det potensielle oksygenforbruket som tilførselene av organisk stoff ute i fjorden bidrar med. Det ble tatt ut et begrenset antall prøver fra VEAS og Bekkelaget RA og fra tre av de største elvene for bestemmelse av dette oksygenforbruket der det til en viss grad ble forsøkt å ta hensyn til at følgende faktorer vil kunne ha vesentlig betydning for oksygenforbruket:

- *Nedbrytningen vil i skje i sjøvann/brakkvann.* Det er andre mikroorganismer i sjøvann enn i ferskvann.
- *Sesongvariasjoner i tilførselene.* Man kan forvente relativt like tilførsler fra renseanleggene gjennom året (men varierende konsentrasjoner), men tilførselene via elvene vil variere betydelig med nedbør/avrenning, tele i bakken vs. vekstsesong, snøsmelting, aktivitet i nedbørsfeltet (avløspåvirkning, jordbearbeiding, gjødsling, skogbruk etc.) og oppholdstid i

innsjøer før transport ut til fjorden. Variasjonen går sannsynligvis både på samlet mengde TOC, andel nedbrytbarhet og det spesifikke oksygenforbruket (g O₂/g C).

- *Hvor mye av det organiske stoffet som vil kunne brytes ned i løpet av den forventede oppholdstiden i fjorden.* I Vestfjorden vil oppholdstiden kunne være typisk ett år, mens den i Bunnefjorden kan være ca. 3 år. Samtidig vil en del organisk stoff sedimentere og vil kunne bidra til et oksygenforbruk her over lengre tid. Det kan også resuspenderes.
- *Hva temperaturen er under nedbrytningen.* Under sprangsjiktet i Vestfjorden ligger temperaturen på typisk 6-10 °C året gjennom.

Det var ikke noen målsetning for prosjektet å dekke alle disse mulighetene, men å få en viss indikasjon på hvordan ulike aktiviteter i nedbørsfeltet og avrenningsforhold påvirker det spesifikke oksygenforbruket (g O₂/g C). Det ble derfor tatt et begrenset antall prøver, men som samtidig ville kunne speile litt av de normale variasjonene i tilrenningen til fjorden. Valg av prøvetidspunkt og -sted, bestemmelsesmetode og resultater er presentert i det følgende.

2.1 Prøvetaking i renseanlegg og elver

Prøver fra elver:

Valg av elveprøver ble gjort for å gjenspeile ulike typer aktiviteter i nedbørsfeltene og ulike avrenningsforhold. Dette, samt tidspunkter og steder for prøvetakingene, er vist i **Tabell 3**. Det ble tatt én enkelt prøve ved hvert tidspunkt, som en stikkprøve. Alle prøvene ble analysert for TOC (totalt 24 prøver), men kun ved ett tidspunkt under tørrværsavrenning og ett tidspunkt under vårløsningen ble det analysert for spesifikt totalt oksygenforbruk fra organisk karbon (TOF_{OC,spes}) (totalt 6 prøver). Det skulle egentlig blitt tatt inn to én ekstra elvevannsprøver fra hver av elvene under høstflom/kraftig nedbør, som skulle vært analysert for TOC og TOF_{OC,spes} (kun én). Dette ble ikke gjort på grunn av lite nedbør denne høsten. Det ble derfor tatt en ekstra avløpsvannprøve på innløp og utløp til renseanleggene under kraftig nedbør sommeren 2011.

Tabell 3. Oversikt over prøver tatt for å gjenspeile tilførselene av organisk stoff via elvene til fjorden. Prøveuttakstidspunktene der det ble tatt ut prøve for bestemmelse av totalt oksygenforbruk fra organisk karbon (TOF_{OC,spes}) er uthevet.

| Elvenavn | Dominerende aktiviteter i nedbørsfeltet | Prøvetaking | | Avrenningsforhold |
|--------------|-----------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------|-------------------------|
| | | Sted | Tidspunkt (analyser) | |
| Loelva/Alna | By, avløpspåvirket | Svartdalsparken | 3.9.10 (TOF _{OC,spes} , TOC) | Tørrvær |
| | | | 7.9.10, 9.9.10 (TOC) | |
| | | | 5.10.10 (TOC) | Høstflom/kraftig nedbør |
| Sandvikselva | Skog, noe by/tettbebyggelse | Bjørnegårdsvingen | 7.4.11 (TOF _{OC,spes} , TOC) | Vårløsning |
| | | | 28.4.11, 2.5.11 (TOC) | |
| | | | 3.9.10 (TOF _{OC,spes} , TOC) | Tørrvær |
| Gjersjøelva | Jordbruk, innsjø | Mastemyr-Ljansbruket | 7.9.10, 9.9.10 (TOC) | |
| | | | 5.10.10 (TOC) | Høstflom/kraftig nedbør |
| | | | 7.4.11 (TOF _{OC,spes} , TOC) | Vårløsning |
| | | | 28.4.11, 2.5.11 (TOC) | |

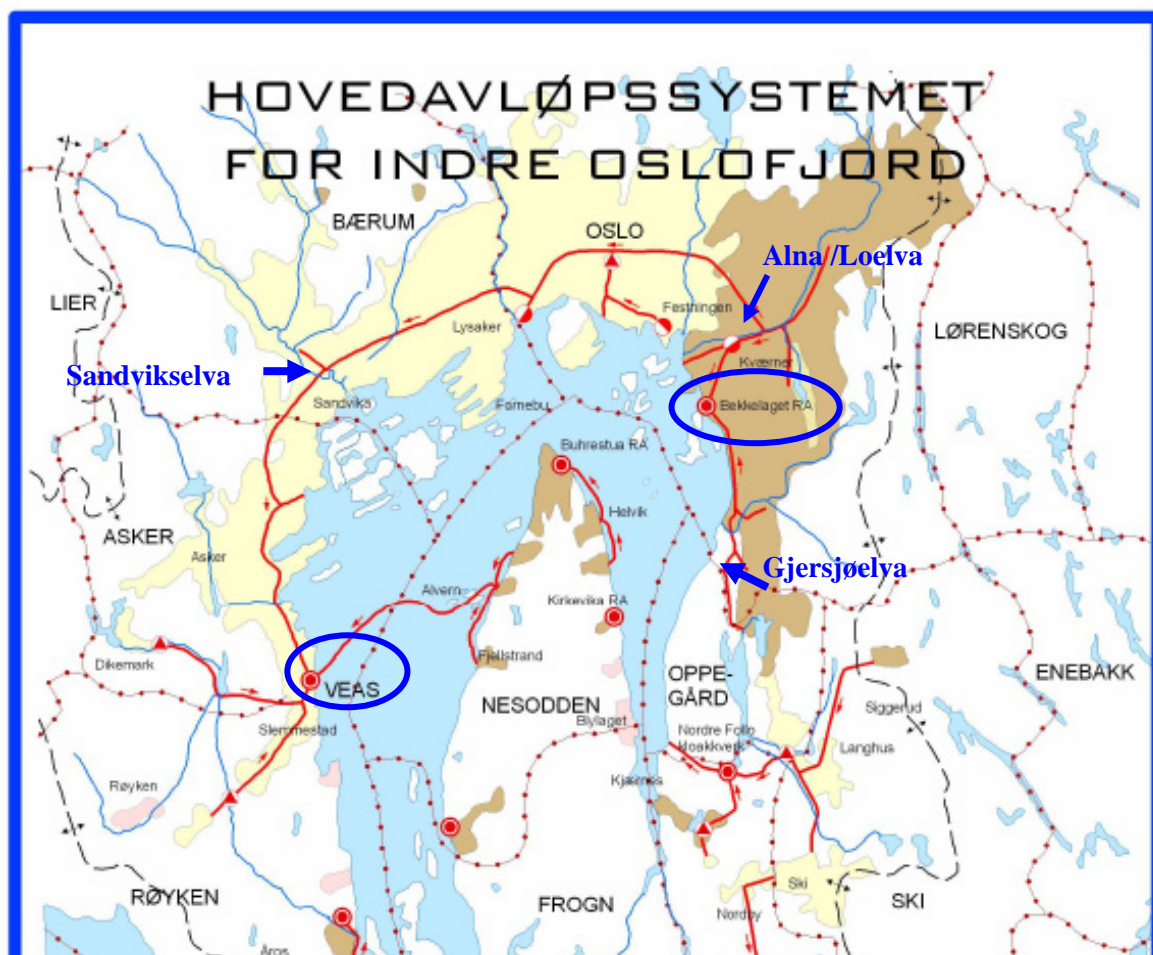
Elveprøvene til forsøkene ble tatt ved å senke en 1 liters syrevasket glassflaske ned i elva med en forlenger fra elvebredden. Prøvene ble tatt der det er god strøm i vannet. Prøver kun til TOC-analyse ble tatt ved å bruke en prøvetaker i plast som ble skylt i ellevannet tre ganger før vannprøve fra en strømrik del av elven ble overført til syrevasket glassflaske. NIVA gjennomførte prøveuttakene.

Prøver fra renseanlegg:

Prøver fra utløpet av VEAS og Bekkelaget RA ble tatt for å gjenspeile forholdene under normal tørrværstilrenning til anleggene (2x3 stk: 3.9, 7.9 og 9.9 2010) og under/etter kraftig regnvær for å fange opp betydningen av en større andel fremmedvann i innløpet (2x2 stk: 5.10.10 og 22.-25.7.11). Under sistnevnte ble det også tatt innløpsprøver for å gjenspeile hva som forsvinner i overløp ute på nettet.

Prøvene ble tatt som 24-timers blandprøver (8 stk) og helgeblandprøver (2 stk). Renseanleggene tok selv blandprøvene med prøvetakingsutstyret som inngår i den normale driftsovervåkingen.

Oversiktskart over hvor prøvene ble tatt er vist i **Figur 7**. Detaljerte kart over prøvepunkter for elvene finnes i **Vedlegg A**.



Figur 7. Kart over Indre Oslofjord med avmerkede prøvepunkter for elver (pil) og renseanlegg (sirkler) [Bakgrunnsfigur: Oslo kommune, VAV]

2.2 Analyse av totalt organisk karbon

Totalt organiske karbon (TOC) ble bestemt på alle prøvene fra elver og renseanlegg ved hjelp av Tekmar Dohrmann Apollo 9000 HS karbonanalysator i hht NS-EN 1484 1. utgave. I tillegg analyserte VEAS sine egne prøver med tilsvarende metode, og resultatene ble sammenlignet.

2.3 Bestemmelse av spesifikt totalt oksygenforbruk fra organisk karbon (TOF_{OC,spes})

Det potensielle totale oksygenforbruket fra organisk karbon (TOF_{oc}) ble bestemt ved en forenklet "closed bottle test" (OECD 306) med naturlig tilstedeværende sjøvannsakterier som testorganismer for nedbrytningen, og ble definert som oksygenforbruket etter 60 dagers inkubering ved 20 ± 1 °C. Det ble trukket fra for det oksygenforbruket som skyldtes oksidering av ammonium (nitrifikasjon). Følgende ligning definerer TOF_{oc,spes}:

$$TOF_{OC,spes} [gO_2 / gC] = \frac{(C_{O_2}^0 + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{v\ddot{a}ske} - N_{OX}}{C_{OC,flaske}^0 \cdot V_{v\ddot{a}ske}}, \text{ der} \quad (1)$$

$C_{O_2}^0$: oksygenkonsentrasjonen ved start [mg O₂/l],

$\Delta C_{O_2, reox}$: oksygenkonsentrasjonsdifferansen i flasken mellom før og etter reoksigenering underveis i testen,

$C_{O_2}^{60d}$: oksygenkonsentrasjonen ved etter 60 døgn [mg O₂/l],

ΔC_{blank} : oksygenforbruket i blankprøven gitt av nedgangen i oksygenkonsentrasjonen i samme tidsrom;

$V_{v\ddot{a}ske}$: vannvolumet i testflasken [l],

$C_{OC,flaske}^0$: TOC-konsentrasjonen i testflasken ved start [mg C/l], gitt av konsentrasjonen i flasken og fortynningsfaktoren, og

N_{OX} , oksygenforbruk forårsaket av nitrifikasjon og gitt av følgende formel:

$$N_{OX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blank}) \cdot V_{v\ddot{a}ske} \cdot f_{O/N}, \text{ der} \quad (2)$$

$f_{O/N}$ er det teoretiske oksygenforbruket på 4,57 g O₂/g N når det antas at nitrifikasjonen har skjedd fullt ut til nitrat (NO₃) i hht følgende ligning:



Andelen av oksygenforbruket som kan knyttes til nitrifikasjon (TOF_{N_{ox}}) er gitt av:

$$TOF_{N_{ox}} = \frac{N_{OX}}{(C_{O_2}^0 + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{v\ddot{a}ske}} \quad (4)$$

Forberedelser:

Sjøvannet brukt i testene var hentet fra 60m dyp ved NIVAs forskningsstasjon på Solbergstrand og tilsatt en liten andel (2-6 %) vann fra 1 m dyp for å øke bakteriefloraen. Vannet ble modnet ved lagring i mørke ved 20 °C i 1-2 dager, med lufting siste natt, for å redusere konsentrasjonen av løst organisk stoff i vannet. Næringssalter ble tilsatt til sjøvannsmediene i hht OECD 306 (se **Vedlegg B**) for å forhindre at nedbrytningen ble begrenset av tilgangen på mineraler. Utløpsprøvene fra renseanleggene og elveprøvene ble fortynnet 1:1 med dette sjøvannet, mens innløpsprøvene til renseanleggene ble fortynnet 1:5. Saliniteten ble justert til 25 ± 1 PSU med NaCl.

For hver prøve ble fire 290 ml glassflasker fylt helt opp med testvannet ved bruk av hevert. Innløpsprøvene ble satt på omrøring under fylling av glassflaskene for å holde det partikulære materialet i prøvene i tilnærmet homogen blanding.

For hvert forsøksoppsett og sjøvannsfortynning ble en blank kontroll og en referansekontroll satt opp. Disse bestod av sjøvann fortynnet med destillert vann i samme forhold som prøvene og tilsatt samme mengde NaCl og næringssalter. Referanseprøven ble i tillegg tilsatt 1 ml/liter anilin stamløsning (260µl anilin pr 100ml dH₂O) for å kontrollere at den mikrobielle aktiviteten var tilstrekkelig. For blankkontroll og referanse ble tre 290 ml glassflasker brukt. I tillegg ble en flaske fylt med kontrollvann for å bruke til etterfylling av fortrent vann under målinger i de andre flaskene. Konsentrasjonen av marine bakterier ble bestemt ved kimtallsanalyse på marin agar fra en prøve av blank kontrollen for hvert forsøk.

Alle flaskene ble proppet igjen og senket ned i et vannbad som stod i et temperaturkontrollert rom (20±1 °C).

Gjennomføring og analyser:

Oksygenkonsentrasjonen ble målt i alle flaskene ved dag 0, etter 5 dager, 28 dager og 60 dager med et oksygenmeter (Oxi Level 2, InoLAB). Oksygenkonsentrasjonen ble målt hyppigere i en flaske fra hver prøve for å kontrollere at ikke alt oksygenet i flaskene var oppbrukt. Dersom denne flasken viste oksygenkonsentrasjon lavere enn 1 mg/l ble oksygenkonsentrasjonen i alle flaskene med samme prøve målt før de ble boblet med luft fuktet i gassvaskeflaske med destillert vann i 1-10 min for å bringe oksygenkonsentrasjonen opp igjen. Deretter ble de igjen proppet og satt tilbake i vannbadet.

Ved måling ble det brukt en trakt til å samle opp fortrent vann fra elektroden. Litt vann (0,5-1ml) fra blank kontrollen ble tilsatt flaskene før proppen ble satt på igjen for å hindre dannelsen av luftbobler. Oksygenelektroden og trakten ble skylt med destillert vann mellom målingene i ulike prøver, men ikke mellom paralleller fra samme prøve.

Ved oppstart og avslutning av testen ble en prøve tatt ut for bestemmelse av NO₂ og NO₃ samlet (NS 4745) for å bestemme oksygenforbruket forårsaket av nitrifikasjon (oksidering av NH₄⁺ til NO₂ og NO₃).

2.4 TOF_{OC,spes} i vann fra renseanlegg og elver

Resultatene fra TOF_{OC,spes}-bestemmelsene er vist i **Tabell 4**. Rådata og beregninger er vist i **Vedlegg C**. I tillegg til TOF_{OC,spes}, har vi oppgitt vannføringen inn til renseanleggene og i elvene under prøvetakingen, TOC-konsentrasjonen i hver enkelt prøve og hvor stor andel oksidasjon av ammonium (nitrifikasjon) utgjorde i prosent av det samlede målte oksygenforbruket under hver enkelt måling. Alle TOF_{OC,spes}-tall er oppgitt uten nitrifikasjon. En høy TOF_{OC,spes}-verdi vil si at oksygenforbruket er høyt per vekt enhet organisk karbon i vannet. Samtidig må vi påpeke at alle disse resultatene kun er indikative, da tallgrunnlaget foreløpig er altfor svakt til å komme med noen konklusjoner. Dette gjelder ikke minst for elvene, der vi kun har ett enkelt resultatet for hver av de to vannføringene.

Viktige observasjoner for utløpet fra avløpsrenseanleggene:

- Ved tørrværsavrenning er TOF_{OC,spes}-verdien for utløpet fra VEAS ca. 2x høyere enn for utløpet fra Bekkelaget RA. Denne forskjellen gjenspeiler sannsynligvis effekten av den lengre hydrauliske oppholdstiden inne på aktivslamanlegget Bekkelaget (ca 20 timer) enn på biofilmanlegget VEAS (2-3 timer).
- Nitrifikasjon utgjorde >60 % av det samlede oksygenforbruk for utløpet fra VEAS, mens det tilsvarende tallet for Bekkelaget RA var ca. 10 %. Dette samsvarer ikke med estimatene som ble gjort tidligere, og som ble oppsummert i **Figur 2**; da ble det relative bidraget fra nitrogen og organisk stoff i avløpsvannet fra både VEAS og Bekkelaget funnet å være omtrent like store.
- Under kraftig regnvær der fremmedvannmengden var i størrelsesorden 50 % av den totale tilrenningen til anleggene, forble TOF_{OC,spes}-verdien for rensset vann fra VEAS tilnærmet

uforandret (dog med stor variasjon mellom de to parallellene), mens den ca. doblet seg for rensert vann fra Bekkelaget RA og nærmet seg altså den for VEAS. Som det fremgår av **Tabell 5**, hadde ca. 30 % av det behandlede vannet som inngikk i prøvetakingen (vann gjennom regnvannrensaneanlegget, RVR, og det som gikk i overløp ble holdt utenom) gått gjennom kun kjemisk behandling. Her fjernes kun partikulært og kolloidalt materiale, og man kunne dermed forventet en vesentlig forverring av fjerningen av det biologisk tilgjengelige (og løselige) organiske stoffet. Dette så man altså tydelig på Bekkelaget. Teoretisk kan vi regne oss fram til hvor stor $TOF_{OC,spes}$ -verdien var ut fra den kjemiske behandlingen ($TOF_{OC,kjem,spes}$), hvis vi antar at det som gikk gjennom den biologisk-kjemiske behandlingen ($TOF_{OC,biokjem,spes}$) var uforandret:

$$TOF_{OC,kjem,spes} = \frac{TOF_{OC,ut,spes} - \gamma_{biokjem} \cdot TOF_{OC,biokjem,spes}}{\gamma_{kjem}}, \text{ der} \quad (5)$$

γ_{kjem} , $\gamma_{biokjem}$: andelen som behandles kjemisk og biologisk-kjemisk, gitt i **Tabell 5**.

Med data hentet fra **Tabell 4 og 5** for de to prøvetakingsperiodene blir den teoretiske $TOF_{OC,kjem,spes}$ for den kjemiske behandlingen på Bekkelaget RA på 1,02 g O₂/g C for prøven hentet inn 5.10.2010, der 33 % av vannet ble behandlet kjemisk, og på 1,86 g O₂/g C for helgeblandprøven 22.-25.7.2011, der hele kapasiteten til det kjemiske rensetrinnet ble utnyttet og ca 28 % av alt vannet gikk i overløp. Resultatet her er som forventet; den kjemiske fellingen fungerer mindre optimalt ved økt hydraulisk belastning og lavere konsentrasjoner av organisk stoff (jfr. **Tabell 4**).

Tabell 4. Målt vannføring under prøveuttak og TOC i prøvene, og beregnet totalt oksygenforbruk for nedbrytning av organisk stoff ($TOF_{OC,spes}$) (etter justering for nitrifikasjon) bestemt ved lab-forsøk, samt andelen av oksygenforbruket knyttet til oksidasjon av ammonium (N_{ox}).

| Prøvetakings- sted | Dato | Avrennings- forhold | Vannføring ¹ 1000 m ³ /d | TOC mg C/l | | TOF _{OC,spes} g O ₂ /g C | | N _{ox} % | |
|-----------------------|------------|--------------------------|---------------------------------------------------|---------------|------|-------------------------------------------------|------------|----------------------|----|
| | | | | Snitt | | Snitt | | Snitt | |
| | | | | | | | | | |
| VEAS utløp | 3.9.10 | Tørrværs- avrenning | 250 | 9,4 | 10,0 | 1,12 | 1,0 | 44 | 61 |
| | 7.9.10 | | 203 | 10,7 | | 1,10 | | 67 | |
| | 9.9.10 | | 236 | 9,9 | | 0,79 | | 72 | |
| | 5.10.10 | Etter kraftig regnvær | 456 | 7,4 | 6,8 | 1,19 | 0,9 | 58 | 64 |
| | 22-25.7.11 | | 435 | 6,2 | | 0,55 | | 71 | |
| Bekkelaget utløp | 3.9.10 | Tørrværs- avrenning | 104 | 8,3 | 8,7 | 0,49 | 0,5 | 2 | 11 |
| | 7.9.10 | | 91 | 8,0 | | 0,56 | | 14 | |
| | 9.9.10 | | 89 | 9,7 | | 0,45 | | 17 | |
| | 5.10.10 | Etter kraftig regnvær | 205 | 7,5 | 7,8 | 0,67 | 0,9 | 79 | 69 |
| | 22-25.7.11 | | 218 | 8,0 | | 1,09 | | 58 | |
| VEAS innløp | 5.10.10 | Etter kraftig regnvær | 456 | 37,4 | 33,2 | 3,31 | 3,7 | 29 | 23 |
| | 22-25.7.11 | | 435 | 28,9 | | 4,00 | | 16 | |
| Bekkelaget innløp | 5.10.10 | Etter kraftig regnvær | 205 | 44,1 | 41,0 | 3,52 | 3,3 | 26 | 25 |
| | 22-25.7.11 | | 218 | 37,9 | | 3,02 | | 24 | |
| Alna/Loelva | 3.9.10 | Tørrvær | 82 | 5,4 | | 0,29 | | 16 | |
| | 7.4.11 | Vårløsning | 570 | 6,6 | | 0,65 | | 13 | |
| Sandvikselva | 3.9.10 | Tørrvær | 289 | 7,6 | | 0,21 | | 0 | |
| | 7.4.11 | Vårløsning | 1089 | 7,6 | | 0,57 | | 2 | |
| Gjersjøelva | 3.9.10 | Tørrvær | 77 | 8,2 | | 0,13 | | 0 | |
| | 7.4.11 | Vårløsning | 284 | 7,8 | | 0,10 | | 0 | |

¹Kilder elvevannføringer: Vann- og avløpsetaten, Oslo kommune (Alna/Loelva), Instrumentsentralen, NIVA (Gjersjøelva), Vann- og avløpsetaten og Bærum kommune (Sandvikselva).

Viktige observasjoner for innløpet til avløpsrenseanleggene:

- $\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$ -verdien i innløpene til renseanleggene er 3-5 ganger høyere enn utløpet, noe som viser effekten av den biologiske rensningen på anleggene.
- Oksygenforbruket knyttet til ammonium (TOF_{NOx}) ser ut til å være i størrelsesorden 1/3-del av det knyttet til oksideringen av organisk stoff.

Viktige observasjoner for elvetilførslene:

- For Alna/Loelva og Sandvikselva 2-3-dobles $\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$ -verdien under vårløsningen sammenlignet med tørrværsavrenningen. Dette er elver som begge er bypåvirket, men Alna/Loelva sannsynligvis vesentlig mer enn Sandvikselva. Sistnevnte drenerer store skogsområder.
- Det er interessant at $\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$ -verdien for Gjersjøelva, som i stor grad drenerer jordbruksområder, ikke ser ut til å endres med vårløsningen. Dette skyldes sannsynligvis påvirkningen fra oppholdet i Gjersjøen.
- Det er kun i vannet fra den avløpspåvirkede Alna/Loelva at oksygenforbruk til nitrifikasjon (TOF_{NOx}) ser ut til å ha noen særlig betydning.

Som nevnt innledningsvis ble følgende to antagelser lagt til grunn når oksygenforbruket på grunn av organisk stoff skulle estimeres i den enkle beregningsmodellen:

1. 60 % av alt organisk stoff som tilføres fjorden er tilgjengelig for bakteriell omsetning, uansett opphav.
2. I samsvar med Baalsrud m.fl. (1986); for hvert g C som oksideres går det med 2,4 g oksygen.

Samlet sett ga dette en $\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$ -verdi på:

$$\text{TOC}_{\text{OC}} = 0,6 * 2,4 = 1,44 \text{ g O}_2/\text{g organisk C i vannet for alle vanntyper.}$$

Slik $\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$ -verdiene fremstår i **Tabell 4** var dette en betydelig overestimering for hovedmengden av utslippene. Det var kun urensset overløp på ledningsnett/renseanleggene som overskred denne $\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$ -verdien. Vi ser nærmere på dette i neste delkapittel når vi diskuterer mulige feilkilder og usikkerheter ved forsøket.

Hvis $\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$ -verdiene i **Tabell 4** kobles sammen med vannførings- og TOC-målingene presentert i **Figur 3 og 4**, kan vi få et mål på de samlede TOF_{OC} -utslippene via elvene. For enkelhets skyld har vi satt skillet mellom tørrværs- $\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$ og våtværs- $\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$ ved tre ganger (3x) tørrværsavrenningen, der tørrværsavrenningen er satt lik medianvannføringen av tilgjengelige data. $\text{TOF}_{\text{OC, spes}}$ -verdiene for Lysakerelva og Akerselva er antatt lik Sandvikselva. Resultatene er oppsummert i **Tabell 7**. I **Tabell 6** er de samlede TOF_{OC} -utslippene fra de enkelte elvene og renseanleggene sammenlignet med de tidligere estimatene (jfr. **Tabell 1**). For renseanleggene er utslippene nærmere anvist i **Tabell 8**.

Viktige observasjoner for utslippet av TOF_{OC} fra avløpsrenseanleggene:

- TOC -utslippet fra Bekkelaget RA er i snitt i størrelsesorden 10 % av TOC -utslippet fra VEAS, men pga den lave TOF_{OC} -verdien for Bekkelaget sammenlignet med VEAS, blir denne skjevheten enda større; 6-8 %. Utslippet av TOF_{OC} fra VEAS er ca 80 % av det estimert tidligere (Strategiplanen), men ca halvparten av det som ligger inne i Oslofjordmodellen. For utslippet fra Bekkelaget ligger de tidligere estimatene ca dobbelt så høyt, mens det som ligger inne i Oslofjordmodellen er i størrelsesorden 5 x høyere.
- Utslippene av TOF_{OC} via urensset overløp ser ut til å være 0,7-2,3 ganger høyere enn estimert for overløpet over rist på Bekkelaget, mens det ligger 70 % under det som ligger inne i Fjordmodellen for Lysaker (etter innføringen av RVR i 2008). TOF_{OC} -utslippet så ut til å ha vært ca 5x høyere enn tidligere estimert for Lysakeroverløpet før 2008.

Viktige observasjoner for elveutslippene av TOF_{OC} :

- Lysakerelva, som har den største medianvannføringen og største vannføringen totalt av elvene, ser også ut til å ha det største utslippet av TOF_{OC} .
- For Sandvikselva ser det ut til at >90 % av utslippet av TOF_{OC} målt i tonn O_2 /år skjer ved stor (>3x median) vannføring.
- Som ventet ut fra de beregnede $TOF_{OC,spes}$ -verdiene, ser TOF_{OC} -utslippet fra de enkelte elvene å være vesentlig lavere enn de tidligere estimatene anslo, spesielt verdiene som ligger inne i Fjordmodellen. Dette gjaldt ikke minst for Gjersjøelva, som har et nesten merkelig lavt årlig utslipp. Vi mangler tall for Årungselsva, men det er naturlig å tro at den vil ikke være helt ulik Gjersjøelva, siden den nok vil være betydelig påvirket av Årungen.

Noe som bringer oss over til det neste, og siste kapittelet: vurdering av feil og usikkerheter.

Tabell 5. Registrert vannføring inn og hydraulisk fordeling på ulike behandlingstrinn på VEAS og Bekkelaget RA under regnværspørvene.

| Renseanlegg | Behandling | 5.10.10 | 22.-25.7.11 | |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | m ³ /døgn | m ³ /helg | m ³ /døgn |
| VEAS | Innkommende vannmengde | 518 918 | 1 730 926 | 576 975 |
| | Mekanisk/kjemisk/biologisk | 320 630 | 949 783 | 316 594 |
| | Mekanisk/kjemisk | 135 562 | 356 314 | 118 771 |
| | RVR kjemisk rensset <i>Ikke med i blandprøvene</i> | 0 | 342 922 | 114 307 |
| | RVR rensset kun med rister <i>Ikke med i blandprøvene</i> | 62 726 | 81 907 | 27 302 |
| | Overløp <i>Ikke med i blandprøvene</i> | 0 | 201 571 | 67 190 |
| Bekkelaget RA | Innkommende vannmengde | 204 691 | 653 189 | 217 730 |
| | Mekanisk/kjemisk/biologisk | 136 234 | 330 421 | 110 140 |
| | Mekanisk/kjemisk | 68 457 | 210 000 | 70 000 |
| | Overløp rist <i>Ikke med i blandprøvene</i> | 0 | 112 768 | 37 589 |
| | Overløp Kværner <i>Ikke med i blandprøvene eller medregnet i innkommende vannmengde</i> | 0 | 97 930 | 32 643 |

Tabell 6. Samlede TOF_{oc}-utslipp fra de enkelte elvene og renseanleggene sammenlignet med de tidligere estimatene (jfr. **Tabell 1**).

| | Oksygenforbruk (Strategi) | | | NIVAs fjordmodell | TOF _{oc} |
|---------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | Snitt | Maks | Min | | |
| | tonn O ₂ /år | | | | |
| VEAS | 1957 | 2405 | 1649 | 3240 | 1528 ⁴ |
| Bekkelaget RA | 215 | 256 | 138 | 520 | 87 |
| Nordre Follo RA | 49 | 55 | 42 | 65 | - |
| Lysakeroverløp før 2008 | 184 | 348 | 72 | - | 925 |
| Lysakeroverløp etter 2008 | 1 ¹ | 2 ¹ | 0 ¹ | 367 | 116 ⁵ |
| Overløp Bekkelaget o/rist | 124 | 243 | 46 | 164 | 284 |
| Årungenelva | 535 | 857 | 213 | 1547 | - |
| Gjærsejelva | 1254 | 2059 | 448 | 3719 | 21 |
| Ljanselva | 221 | 238 | 204 | 481 | - |
| Loelva/Alna | 1243 ² | 1322 ² | 1164 ² | 2101 ² | 198 |
| Lysakerelva | 953 ³ | 1020 ³ | 887 ³ | 1602 ³ | 485 |
| Sandvikselva | 948 | 948 | 948 | 3771 | 345 |
| Åroselva | 613 | 701 | 526 | | - |
| Samlet | 8 296 | 10 454 | 6 336 | 17 577 | >3000 |

¹ Tall fram til oktober 2009² Inkluderer også Akerselva, Frognerelva og Hovinbekken³ Inkluderer også Hoffselva og Mærradalsbekken⁴ Gjennomsnitt perioden 2008-2010 (fra **Tabell 8**).⁵ Gjennomsnitt perioden 2009-2010 (fra **Tabell 8**).

Tabell 7. Beregnet årlig oksygenforbruk på grunn av organisk stoff i de største elvene med utslipp til Indre Oslofjord. Det er gjort et skille mellom TOF_{OC,spes}-verdi for tørrvær- og våtværsavrenning (se **Tabell 4**) ved 3x median vannføring. "n" angir antall målepunkter for TOC, og dermed for estimeringen av TOF_{OC}-utslippene.

| Elv | n | Vannføring | | | | | | TOF _{OC} | | | | | | | |
|--------------|-----|------------------------|---------------------|---------------------|--------|---------------------|-------|---------------------|-------|----------------------|-------------------------|---------------------|-------|---------------------|-------|
| | | median | | <3x median | | ≥3x median | | median | | Totalt | | <3x median | | ≥3x median | |
| | | | | Per år | andel | Per år | andel | Per år | andel | | | Per år | andel | Per år | andel |
| | | 1000 m ³ /d | 1000 m ³ | 1000 m ³ | % | 1000 m ³ | % | 1000 m ³ | % | mg O ₂ /l | tonn O ₂ /år | tonn O ₂ | % | tonn O ₂ | % |
| Lysakerelva | 219 | 227 | 68 000 | 46 | 81 000 | 54 | 2,51 | | 485 | 148 | 31 | 337 | 69 | | |
| Akerselva | 219 | 190 | 66 000 | 57 | 49 000 | 43 | 2,18 | | 253 | 116 | 46 | 137 | 54 | | |
| Alna/Loelva | 220 | 94 | 37 000 | 80 | 9 300 | 20 | 2,61 | | 198 | 59 | 30 | 139 | 70 | | |
| Gjersjøelva | 47 | 27 | 10 000 | 33 | 15 000 | 67 | 0,87 | | 21 | 9,8 | 47 | 11.1 | 53 | | |
| Sandvikselva | 118 | 143 | 50 000 | 40 | 75 000 | 60 | 1,03 | | 345 | 31 | 9 | 314 | 91 | | |

Tabell 8. Estimert årlig TOF_{OC}-utslipp for de ulike behandlingsmetodene og overløp på VEAS og Bekkelaget RA basert på årlige vannføringsdata, TOC-utslipp og TOF_{OC,spes}-verdier fra **Tabell 4**. Vannføringsdata er hentet fra årsrapportene. TOC-verdiene for VEAS er hentet fra årsrapportene, mens TOC-verdiene for Bekkelaget er hentet fra **Tabell 1**; "Snitt Strategi" angir tall fra Strategiplanen. Det er for enkelhets skyld antatt at utslippet av TOC fra biokjemisk og kjemisk behandling er proporsjonalt med mengden vann behandlet.

| VEAS | 2008 | | | | | | 2009 | | | | | | 2010 | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|----------------|-------------------------|
| | Vannføring | TOC | TOF _{OC} | Vannføring | TOC | TOF _{OC} | Vannføring | TOC | TOF _{OC} | Vannføring | TOC | TOF _{OC} | Vannføring | TOC | TOF _{OC} | Vannføring | TOC | TOF _{OC} |
| | mill. m ³ /år | tonn C/år | tonn O ₂ /år | mill. m ³ /år | tonn C/år | tonn O ₂ /år | mill. m ³ /år | tonn C/år | tonn O ₂ /år | mill. m ³ /år | tonn C/år | tonn O ₂ /år | mill. m ³ /år | tonn C/år | tonn O ₂ /år | mill. m ³ /år | tonn C/år | tonn O ₂ /år |
| | 110 | 1920 | 2548 | 106 | 1615 | 1684 | 99 | 1415 | 1478 | 99 | 1415 | 1478 | 99 | 1415 | 1478 | 99 | 1415 | 1478 |
| Vannføring (mill. m ³ /år) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bekkelaget | 2008 | 2009 | 2010 | Snitt | Snitt Strategi | Fjordmodell | TOF _{OC} ² (tonn O ₂ /år) | Snitt Strategi | Fjordmodell | TOF _{OC} ² (tonn O ₂ /år) | Snitt Strategi | Fjordmodell | TOF _{OC} ² (tonn O ₂ /år) | Snitt Strategi | Fjordmodell | TOF _{OC} ² (tonn O ₂ /år) | Snitt Strategi | Fjordmodell |
| | 38,32 | 39 | 38,98 | 38,77 | 140 | 188 | | 140 | 188 | | 140 | 188 | | 140 | 188 | | 140 | 188 |
| | 2,36 | 3,15 | 1,643 | 2,38 | 9 | 12 | | 9 | 12 | | 9 | 12 | | 9 | 12 | | 9 | 12 |
| | 2,23 | 0,764 | 0,678 | 1,22 | 86 | 63 | | 86 | 63 | | 86 | 63 | | 86 | 63 | | 86 | 63 |
| Samlet | 43 | 43 | 41 | 42 | 235 | 263 | | 235 | 263 | | 235 | 263 | | 235 | 263 | | 235 | 263 |

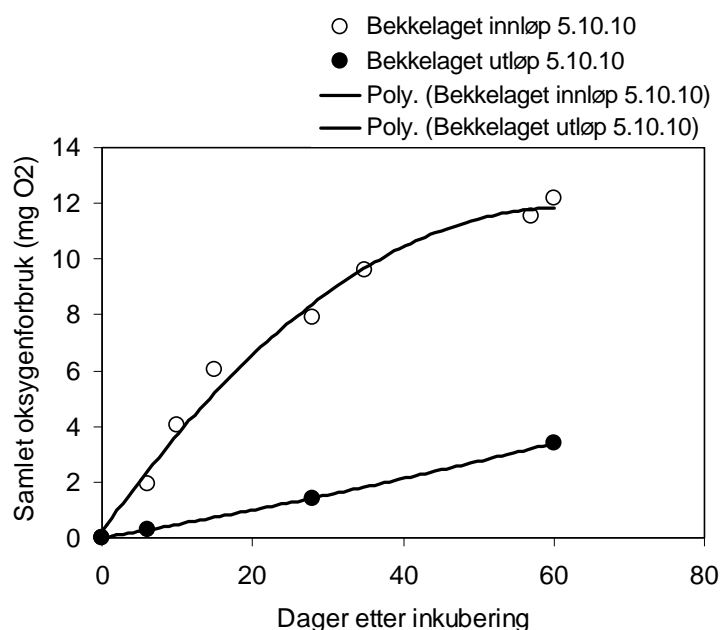
¹ Gjennomsnittet for TOF_{OC,kjem,spes} ble benyttet; (1,02+1,86)/2 = 1,44 g O₂/g C.

² Det er benyttet TOC-verdiene fra hhv Strategiplanen og Fjordmodellen, mens TOC_{OC,spes} er hentet fra **Tabell 4**.

3. Vurdering av feil og usikkerheter

3.1 Har vi bestemt endelig oksygenforbruk?

Figur 8 under viser typiske forløp for oksygenforbruket under lab-forsøkene. Siden kurvene ikke flater ut før forsøkene ble avsluttet etter 60 døgn, indikerer dette at forbruket av oksygen ikke hadde stoppet opp. Det er vanskelig å tolke slike data, da det er mange mulige årsaker til dette forløpet. Én viktig faktor er nedbrytning av døde bakterier, noe som vil gi en falsk økning av oksygenforbruket når det er nedbrytningen av det opprinnelige organiske stoffet vi er ute etter.



Figur 8. Typisk forløp for oksygenforbruket under lab-forsøkene ved bestemmelse av totalt oksygenforbruk på grunn av organisk karbon ($TOF_{OC,spes}$).

I årsrapportene fra VEAS oppgir de sammensetningen av det gjennomsnittlige avløpsvannet inn på anlegget og det rensede vannet ut fra anlegget, gitt ved TOC, kjemisk oksygenforbruk (KOF) og ammonium (NH_4-N). Selv om ikke alt organisk stoff vil oksideres kjemisk gjennom KOF-bestemmelsen, er KOF-verdien en parameter som kan anses som en teoretisk grense for oksygenforbruket ved nedbrytning av organisk stoff. Hvis det antas at hovedbidragene til KOF-verdien kommer fra oksidering av TOC og NH_4 , kan følgende forhold settes opp for bestemmelse av $TOF_{OC,spes}$:

$$TOF_{OC} = \frac{KOF - C_{NH_4} \cdot 4,57 [gO_2 / gN]}{C_{TOC}}, \text{ der} \quad (6)$$

C_{NH_4} , C_{TOC} er konsentrasjonen av NH_4-N og TOC.

For innløpet til VEAS oppgir VEAS følgende: KOF = 360 mg O_2/l , TOC = 90 mg C/l og $NH_4 = 16,6$ mg N/l. Dette gir en $TOF_{OC,spes}$ -verdi på 3,16 g O_2/g C, noe som er relativt nær verdiene vi målte for innløpet til VEAS under kraftig nedbør på 3,3-4,0 g O_2/g C. For utløpet fra VEAS oppgir VEAS

følgende: KOF = 35 mg O₂/l, TOC = 14 mg C/l og NH₄ = 5 mg N/l. Dette gir en TOF_{OC,spes}-verdi på 0,87 g O₂/g C, noe som også er relativt nær verdiene vi målte for utløpet fra VEAS under tørrværsavrenning på 0,79-1,12 g O₂/g C. Dette indikerer at det meste av det organiske stoffet i prøvene har blitt brutt ned. Dette indikerer også at KOF-verdien er en nyttig parameter for å anslå et forventet mulig oksygenforbruk ute i fjorden, noe som ikke var helt uventet.

Nedbrytningsforsøkene gikk over 60 dager ved 20 °C. Spørsmålet er om dette kan gjenspeile det tidsrommet nedbrytningen er forventet å foregå over. Normal oppholdstid i fjorden (når sedimentering ikke ıregnes) er på i størrelsesorden 1-3 år (ut fra dypvannsutskiftingssyklusen i hovedbassengene i fjorden), og temperaturen under terskelen på ca 20 m fjorden ligger på 6-10 °C. I Oslofjordmodellen benyttes følgende temperaturavhengighet for nedbrytningsprosessene:

$$r_{o,20^{\circ}C} = f_T \cdot r_{o,T}, \text{ der} \quad (8)$$

$$f_T = \exp[k_{T,R}(T - 20^{\circ}C)], \quad (7)$$

R_{o,T} = nedbrytningsraten (dag⁻¹), og
temperaturkoeffisienten k_{T,R} = 0,12 °C⁻¹.

Ved 6 °C og 10 °C er nedbrytningsraten hhv 24 % og 30 % av det den er ved 20 °C. Eller sagt på en annen måte; nedbrytningen eller oksygenforbruket vi målte over 60 dager ville tatt 250 døgn (ca. 8 mnd) ved 6 °C og 200 døgn (ca. 6,5 mnd) ved 10 °C. Det kan være at vi ikke har fanget opp det mest tungt nedbrytelige organiske stoffet i elveprøvene, noe som også kurveforløpet i **Figur 8** antyder. Men å øke nedbrytningstiden noe særlig utover disse 60 dagene er som nevnt sannsynligvis ikke formålstjenlig. KOF-målinger på elvevannsprøvene vil kanskje være en tilfredsstillende måte å bestemme det endelige oksygenforbruket i disse prøvene på. Dette er også langt enklere og billigere analyser å gjennomføre.

3.2 Analyse- og måleusikkerhet

Den største usikkerheten når det gjelder målinger er, foruten selve endepunktet for nedbrytningsprosessen i TOF_{oc}-analysen, nok knyttet til vannføringene. Hvor store målefeilene kan være, har vi ikke forsøkt å finne ut av.

Det er flere usikkerheter knyttet til de kjemiske analysene, men disse er av mindre betydning i denne sammenheng, selv om de gjerne ligger på 20-30 % selv på enkle, standardiserte metoder; jfr. **Tabell 9** under for måling av TOC i de samme vannprøvene hentet på VEAS.

Tabell 9. Sammenligning av TOC måling utført ved NIVA og VEAS av prøver fra VEAS.

| Analyselab | NIVA | VEAS | Differanse |
|----------------------------------|--------|--------|------------|
| Prøve fra VEAS | mg C/l | mg C/l | % |
| Utløp tørrvær dag 1 | 9,4 | 12,1 | 29 |
| Utløp tørrvær dag 2 | 10,7 | 12,7 | 19 |
| Utløp tørrvær dag 3 | 9,9 | 12,1 | 22 |
| Utløp regnvær dag 1 | 7,4 | 10,2 | 38 |
| Innløp renseanlegg regnvær dag 1 | 37,4 | 40,8 | 9,1 |

4. Konklusjon

Det målte oksygenforbruket i vannprøvene antydte store sprik mellom tidligere antatt oksygenforbruk og det som mulig er reelt.

De viktigste funnene for renseanleggene:

- Ved tørrværsavrenning er $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ -verdien for utløpet fra VEAS (1,0 g $\text{O}_2/\text{g C}$) ca. 2x høyere enn for utløpet fra Bekkelaget RA (0,5 g $\text{O}_2/\text{g C}$).
- TOF_{OC} -utslippet fra Bekkelaget RA er i størrelsesorden 6-8 % av TOF_{OC} -utslippet fra VEAS. Utslippet av TOF_{OC} fra VEAS så ut til å være ca 80 % av det som ble estimert tidligere (Strategiplanen), men ca halvparten av det som ligger inne i Oslofjordmodellen. For utslippet fra Bekkelaget ligger de tidligere estimatene ca dobbelt så høyt, mens det som ligger inne i Oslofjordmodellen er i størrelsesorden 5 x høyere.
- Under kraftig regnvær med en fremmedvannmengde på ca 50 %, forble $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ -verdien for rensert vann fra VEAS tilnærmet uforandret, mens det ble estimert en $\text{TOF}_{\text{OC,kjem,spes}}$ for det kjemiske rensetrinnet på Bekkelaget RA som var vesentlig høyere enn $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ for det biologisk-kjemiske rensetrinnet (normalt behandles alt vannet biologisk-kjemisk, men når kapasiteten til denne rensingen overskrides blir det overskytende behandlet kun kjemisk). Når 33 % av vannet ble behandlet kjemisk var denne på 1,02 g $\text{O}_2/\text{g C}$, mens den økte til 1,86 g $\text{O}_2/\text{g C}$ når den kjemiske kapasiteten var fullt utnyttet.
- $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ -verdien i innløpene til renseanleggene er 3-5 ganger høyere enn utløpet. Disse ble brukt til å estimere overløpsutslippene av TOF_{OC} , som så ut til å være 0,7-2,3 ganger høyere enn estimert for overløpet over rist på Bekkelaget, mens det lå 70 % under det som ligger inne i Fjordmodellen for Lysaker (etter innføringen av Regnvannrensseanlegget i 2008). TOF_{OC} -utslippet så ut til å ha vært ca 5x høyere enn tidligere estimert for Lysakeroverløpet før 2008.

De viktigste funnene for elvene:

- For Alna/Loelva og Sandvikselva ble $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ -verdien 2-3-doblet under vårløsningen sammenlignet med tørrværsavrenningen. Det var interessant å se at $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ -verdien for Gjersjøelva, som i stor grad drenerer jordbruksområder, ikke så ut til å endres med vårløsningen. Årsaken ligger sannsynligvis å finne i påvirkningen fra oppholdet i Gjersjøen.
- $\text{TOF}_{\text{OC,spes}}$ -verdien for elvene var langt lavere enn de antagelsene som var gjort tidligere tilsa, og TOF_{OC} -utslippet fra de enkelte elvene så derfor også ut til å være vesentlig lavere enn de tidligere estimatene anslo, spesielt verdiene som ligger inne i Fjordmodellen. Dette gjaldt ikke minst for Gjersjøelva, som har et nesten merkelig lavt årlig utslipp (<1-2 % av tidligere estimer).

Sammenligning med KOF-verdier for enkelte prøver, der disse er tilgjengelige sammen med TOC -verdiene, antydte at det meste av det organiske stoffet i prøvene hadde blitt brutt ned. De estimerte $\text{TOC}_{\text{OC,spes}}$ -verdiene skulle derfor stemme rimelig godt, i hvert fall for avløpsvannprøvene.

Det anbefales at studien følges opp med en nærmere undersøkelse av den underliggende årsaken til den store forskjellen i spesifikt oksygenforbruk for det organiske stoffet i behandlet vann ut fra VEAS og Bekkelaget RA, og at det gjennomføres et måleprogram med måling av KOF sammen med vannføringsmålinger i de største tilførselselvene.

Referanser

Baalsrud K., Lystad J. og Vråle L. (1986) Vurdering av Oslofjorden. NIVA-rapport 1922.

Bjerkeng, B. (1994) Eutrofimodell for Indre Oslofjord. En modell for omsetning av organiske stoff og næringssalter i innelukkede fjorder med vertikal sjiktning. Rapport 2: Faglig beskrivelse av innholdet i modellen. NIVA-rapport Inr. 3113, ISBN 82-577-2626-5, 134 sider.

Hovin H. og Paulsrud B. (1983) Sammenligning og tilpasning av metoder: TOC ved utslippskontroll av organisk stoff fra kommunale renseanlegg. NIVA-rapport 1486. 23 sider.

Norsk Standard, NS-ISO 8245. Retningslinjer for bestemmelse av totalt organisk karbon, TOC. 1. utg. januar 1991.

Norsk Standard, NS 4745. Bestemmelse av summen av nitritt- og nitratnitrogen. 2. Utg, 1991. Modifisert ved automatisering av bestemmelsen.

Vedlegg A. Prøvetakingspunkter i elvene



Figur A1. Prøvetakingspunkt for Loelva/Alna.



Figur A2: Prøvetakingspunkt for Sandvikselva.



Figur A3. Prøvetakingspunkt Gjersjøelva.

Vedlegg B. Næringssalter benyttet i bestemmelsen av TOF_{OC}

Stock solutions for mineral nutrients

Prepare the following stock solutions, using analytical grade reagents:

(a) Potassium dihydrogen orthophosphate, KH_2PO_4 8.50 g
Dipotassium hydrogen orthophosphate, K_2HPO_4 21.75 g
Disodium hydrogen orthophosphate dihydrate, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. . 33.30 g
Ammonium chloride, NH_4Cl 0.50 g
Dissolve and make up to 1 litre with distilled water.

(b) Calcium chloride, CaCl_2 27.50 g
Dissolve and make up to 1 litre with distilled water.

(c) Magnesium sulphate heptahydrate, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 22.50 g
Dissolve and make up to 1 litre with distilled water.

(d) Iron (III) chloride hexahydrate, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.25 g
Dissolve and make up to 1 litre with distilled water.

Precipitation in solution (d) may be prevented by adding one drop of concentrated HCl or 0.4 g ethylenediaminetetra-acetic acid (EDTA, disodium salt) per litre. If a precipitate forms in a stock solution, replace it with freshly made solution.

Preparation of test medium

Add 1 ml of each of the above stock solutions per litre of pre-treated seawater.

Vedlegg C. Bestemmelse av potensielt oksygenforbruk i prøver fra renseanlegg og elver - rådata

På de neste sidene følger, i kronologisk rekkefølge, rådata og regneark benyttet for å bestemme TOF_{OC} i vannprøvene fra renseanlegg og elver.

Alna/Loelva
prøve 3.9.2010

| | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| TOC [mg C/l] | 5.4 | | | |
| C _{OC} , flaske | 2.7 | | | |
| F, fortynningsfaktor | 2.00 | | | |
| Væskevolum [l] | 0.29 | | | reoksigenert |
| | 03.09.2010 | 08.09.2010 | 01.10.2010 | 02.11.2010 |
| | 0 | 5 | 28 | 60 |
| A1 | 8.47 | 7.94 | 6.85 | 5.16 |
| A2 | 8.52 | 8.06 | 7.40 | 6.15 |
| A3 | 8.46 | 8.04 | 7.44 | 6.22 |
| A4 | 8.44 | 7.98 | 7.41 | 6.19 |
| gjennomsnitt | 8.47 | 8.03 | 7.42 | 6.19 |
| std.avvik | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.04 |
| dCO ₂ ,reox | | | | |
| NO ₃ +NO ₂ [µg N/l] | 485 | | | 636 |
| $(C'_{O_2} + \Delta C_{O_2, reox} - C'_{O_2} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske}$ [mg] | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.27 |
| $N_{OX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N}$ [mg] | | | | 0.04 |
| $TOF_{OC} [g O_2 / g C] = \frac{(C'_{O_2} + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske}^0 \cdot V_{væske}}$ | | | | 0.29 |

Gjersjøelva
prøve 3.9.2010

| | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| TOC [mg C/l] | 8.2 | | | |
| C _{OC} , flaske | 4.1 | | | |
| F, fortynningsfaktor | 2.00 | | | |
| Væskevolum [l] | 0.29 | | | reoksigenert |
| | 03.09.2010 | 08.09.2010 | 01.10.2010 | 02.11.2010 |
| | 0 | 5 | 28 | 60 |
| G1 | 8.4 | 7.88 | 6.8 | 4.70 |
| G2 | 8.41 | 7.98 | 7.52 | 6.44 |
| G3 | 8.42 | 8.01 | 7.56 | 6.48 |
| G4 | 8.4 | 8.01 | 7.61 | 6.61 |
| gjennomsnitt | 8.41 | 8.00 | 7.56 | 6.51 |
| std.avvik | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.09 |
| dCO ₂ ,reox | | | | |
| NO ₃ +NO ₂ [µg N/l] | 653 | | | 713 |
| $(C'_{O_2} + \Delta C_{O_2, reox} - C'_{O_2} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske}$ [mg] | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.16 |
| $N_{OX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N}$ [mg] | | | | 0.00 |
| $TOF_{OC} [g O_2 / g C] = \frac{(C'_{O_2} + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske}^0 \cdot V_{væske}}$ | | | | 0.13 |

Sandvikselva
prøve 3.9.2010

| | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| TOC [mg C/l] | 7.6 | | | |
| C _{OC} , flaske | 3.8 | | | |
| F, fortynningsfaktor | 2.00 | | | |
| Væskevolum [l] | 0.29 | | | reoksigenert |
| | 03.09.2010 | 08.09.2010 | 01.10.2010 | 02.11.2010 |
| | 0 | 5 | 28 | 60 |
| S1 | 8.5 | 8 | 7.15 | 5.81 |
| S2 | 8.45 | 7.85 | 7.19 | 6.16 |
| S3 | 8.53 | 8.07 | 7.52 | 6.34 |
| S4 | 8.48 | 8.04 | 7.46 | 6.55 |
| gjennomsnitt | 8.49 | 7.99 | 7.39 | 6.35 |
| std.avvik | 0.04 | 0.12 | 0.18 | 0.20 |
| dCO ₂ ,reox | | | | |
| NO ₃ +NO ₂ [µg N/l] | 280 | | | 376 |
| $(C'_{O_2} + \Delta C_{O_2, reox} - C'_{O_2} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske}$ [mg] | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.23 |
| $N_{OX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N}$ [mg] | | | | 0.00 |
| $TOF_{OC} [g O_2 / g C] = \frac{(C'_{O_2} + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske}^0 \cdot V_{væske}}$ | | | | 0.21 |

Bestemmelse av TOFoc i sjøvann

| Prøve | Flaskenr | Prøvetakingdager og oksygenmålinger | | | | | |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|
| blank kontroll prøve 7.9.2010 | | dag | 07.09.2010 | 08.09.2010 | 13.09.2010 | 05.10.2010 | 06.11.2010 |
| | | | 0 | 1 | 6 | 28 | 60 |
| | k4 | | 7.54 | 7.57 | 7.08 | 6.75 | 6.09 |
| | k5 | | 7.60 | 7.60 | 7.20 | 7.00 | 6.56 |
| | k6 | | 7.58 | 7.57 | 7.20 | 7.04 | 6.56 |
| | gjennomsnitt | | 7.59 | 7.59 | 7.20 | 7.02 | 6.56 |
| | std.avvik | | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.03 | 0.00 |
| | dCblank | | 0.00 | 0.00 | 0.39 | 0.57 | 1.03 |
| | dCblank, std.avvik | - | | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.01 |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | | 82 | | | | 193 |
| VEAS prøve 7.9.2010 | TOC [mg C/l] | | 10.7 | | | | |
| | C _{OC} , flaske | | 5.35 | | | | |
| | F, fortynningsfaktor | | 2.00 | | | | |
| | Væskevolum [l] | | 0.29 | | | reoksigenert | reoksigenert |
| | | | 03.09.2010 | 08.09.2010 | 12.09.2010 | 05.10.2010 | 01.10.2010 |
| | | | 0 | 1 | 5 | 28 | 28 |
| | V5 | | 8.32 | 7.9 | 6.46 | 0.06 | 7.17 |
| | V6 | | 8.4 | 8 | 6.47 | 0.07 | 7.34 |
| | V7 | | 8.41 | 8 | 6.46 | 0.06 | 7.44 |
| | V8 | | 8.41 | 7.77 | 5.84 | 1.72 | 7.27 |
| | gjennomsnitt | | 8.41 | 7.92 | 6.26 | 0.62 | 7.35 |
| | std.avvik | | 0.01 | 0.13 | 0.36 | 0.96 | 0.09 |
| | dCO ₂ ,reox | | | | | | 6.73 |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | | 1288 | | | | 7.45 |
| | | | | | | | 3958 |
| | $(C_{O_2}^0 + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^0 - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske}$ [mg] | | 0.0 | 0.1 | 0.5 | 2.1 | |
| | $N_{OX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O-N}$ [mg] | | | | | | 5.09 |
| | $TOF_{OC} [g O_2 / g C] = \frac{(C_{O_2}^0 + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske} \cdot V_{væske}}$ | | | | | | 3.39 |
| | | | | | | | 1.10 |
| | | | | | | | |
| Bekkelaget RA prøve 7.9.2010 | TOC [mg C/l] | | 8.0 | | | | |
| | C _{OC} , flaske | | 4.0 | | | | |
| | F, fortynningsfaktor | | 2.00 | | | | |
| | Væskevolum [l] | | 0.29 | | | reoksigenert | reoksigenert |
| | | | 03.09.2010 | 08.09.2010 | 12.09.2010 | 05.10.2010 | 06.11.2010 |
| | | | 0 | 1 | 5 | 28 | 60 |
| | B5 | | 8.13 | 8.29 | 7.68 | 6.48 | 4.50 |
| | B6 | | 8.42 | 8.12 | 7.7 | 6.6 | 4.75 |
| | B7 | | 8.45 | 8.27 | 7.66 | 6.57 | 4.75 |
| | B8 | | 8.32 | 8.26 | 7.56 | 6.49 | 4.78 |
| | gjennomsnitt | | 8.40 | | 7.64 | 6.55 | 4.76 |
| | std.avvik | | 0.07 | | 0.07 | 0.06 | 0.02 |
| | dCO ₂ ,reox | | | | | | |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | | 2285 | | | | 2474 |
| | | | | | | | |
| | $(C_{O_2}^0 + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^0 - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske}$ [mg] | | 0.0 | | 0.1 | 0.4 | 0.76 |
| | $N_{OX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O-N}$ [mg] | | | | | | 0.10 |
| | $TOF_{OC} [g O_2 / g C] = \frac{(C_{O_2}^0 + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske} \cdot V_{væske}}$ | | | | | | 0.56 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| Bestemmelse av TOFoc i sjøvann | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| Prøve | Flaskenr | Prøvetakingdager og oksygenmålinger | | | | | | |
| blank kontroll | | 09.09.2010 | 14.09.2010 | 07.10.2010 | 08.11.2010 | | | |
| prøve 9.9.2010 | dag | 0 | 5 | 28 | 60 | | | |
| | K7 | 7,86 | 7,33 | 7,12 | 6,59 | | | |
| | K8 | 7,84 | 7,34 | 7,31 | 6,78 | | | |
| | K9 | 7,82 | 7,36 | 7,29 | 6,65 | | | |
| | gjennomsnitt | 7,83 | 7,35 | 7,30 | 6,72 | | | |
| | std.awik | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,09 | | | |
| | dCblank | 0,00 | 0,48 | 0,53 | 1,12 | | | |
| | dCblank, std.awik | - | 0,03 | - | 0,08 | | | |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | 70 | | | 194 | | | |
| VEAS | | | | | | | | |
| prøve 9.9.2010 | TOC [mg C/l] | 9,9 | | | | | | |
| | C _{OC} , flaske | 5,0 | | | | | | |
| | F, fortynningsfaktor | 2,00 | | | | | | |
| | Væskevolum [l] | 0,29 | | | reoksigenert | | reoksigenert | |
| | | 09.09.2010 | 14.09.2010 | 07.10.2010 | 07.10.2010 | 23.10.2010 | 23.10.2010 | 08.11.2010 |
| | | 0 | 5 | 28 | 28 | 44 | 44 | 60 |
| | V9 | 7,79 | 6,12 | 3,1 | 7,94 | 0,06 | 7,75 | 5,30 |
| | V10 | 7,81 | 6,02 | 1,13 | 8 | 0,18 | 7,73 | 6,81 |
| | V11 | 7,79 | 6,16 | 3,08 | 7,99 | 0,05 | 7,71 | 5,74 |
| | V12 | 7,8 | 6,11 | 1,41 | 7,96 | 0,05 | 7,73 | 6,89 |
| | gjennomsnitt | 7,80 | 6,10 | 1,87 | 7,98 | 0,09 | 7,72 | 6,48 |
| | std.awik | 0,01 | 0,07 | 1,05 | 0,02 | 0,08 | 0,01 | 0,64 |
| | dCO ₂ , reox | | | | 6,11 | | 7,63 | |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | 911 | | | | | | 3227 |
| | $(C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske}$ [mg] | 0,0 | 0,4 | 1,6 | | | | 4,04 |
| | $N_{OX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N}$ [mg] | | | | | | | 2,91 |
| | $TOF_{OC} [g O_2 / g C] = \frac{(C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske} \cdot V_{væske}}$ | | | | | | | 0,79 |
| Bekkelaget RA | | | | | | | | |
| prøve 9.9.2010 | TOC [mg C/l] | 9,7 | | | | | | |
| | C _{OC} , flaske | 4,9 | | | | | | |
| | F, fortynningsfaktor | 2,00 | | | | | | |
| | Væskevolum [l] | 0,29 | | | reoksigenert | | | |
| | | 03.09.2010 | 14.09.2010 | 07.10.2010 | | 08.11.2010 | | |
| | | 0 | 5 | 28 | | 60 | | |
| | B9 | 7,82 | 6,93 | 5,72 | | 3,76 | | |
| | B10 | 7,82 | 6,99 | 5,8 | | 4,18 | | |
| | B11 | 7,84 | 6,94 | 5,82 | | 4,02 | | |
| | B12 | 7,84 | 6,94 | 5,79 | | 4,03 | | |
| | gjennomsnitt | 7,83 | 6,96 | 5,80 | | 4,08 | | |
| | std.awik | 0,01 | 0,03 | 0,02 | | 0,09 | | |
| | dCO ₂ , reox | | | | | | | |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | 2186 | | | | 2410 | | |
| | $(C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske}$ [mg] | 0,0 | 0,1 | 0,4 | | 0,77 | | |
| | $N_{OX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N}$ [mg] | | | | | 0,13 | | |
| | $TOF_{OC} [g O_2 / g C] = \frac{(C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske} \cdot V_{væske}}$ | | | | | 0,45 | | |

| Bestemmelse av TOFoc i sjøvann | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|
| Prøve | Flaskenr | Prøvetakingstider og oksygenmålinger | | | | | | | | | | | | |
| blank kontroll innløp prøve 5.10.2010 | dag | 05.10.2010 11.10.2010 15.10.2010 02.11.2010 04.12.2010 | | | | | | | | | | | | |
| | | 0 | 6 | 10 | 28 | 60 | | | | | | | | |
| | | k10 | 7.66 | 6.89 | 6.43 | 6.16 | 5.26 | | | | | | | |
| | | k11 | 7.71 | 6.98 | 6.60 | 6.30 | 5.63 | | | | | | | |
| | | k12 | 7.70 | 6.99 | 6.67 | 6.38 | 5.78 | | | | | | | |
| | | gjennomsnitt | 7.71 | 6.99 | 6.64 | 6.34 | 5.71 | | | | | | | |
| | | std. avvik | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 0.06 | 0.11 | | | | | | | |
| | | dBlank | 0.00 | 0.72 | 1.07 | 1.37 | 2.00 | | | | | | | |
| | | dBlank, std. avvik | - | 0.01 | 0.06 | 0.06 | 0.11 | | | | | | | |
| | | NO3+NO2 [µg N/l] | 118 | | | | | | | | | | | 255 |
| VEAS innløp | | | | | | | | | | | | | | |
| prøve 5.10.2010 | TOC [mg C/l] | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 05.10.2010 11.10.2010 15.10.2010 28.10.2010 02.11.2010 04.12.2010 | Væskevolum [l] | 0 | 6 | 10 | 21 | 28 | 35 | 60 | | | | | | |
| | | V13 | 7.40 | 0.73 | 1.60 | 0.76 | 2.49 | 0.08 | 0.25 | 7.70 | 7.76 | 7.80 | 7.65 | |
| | | V14 | 7.41 | 0.52 | 1.11 | 0.99 | 2.53 | 0.05 | 0.17 | 7.68 | 7.82 | 7.90 | 7.71 | |
| | | V15 | 7.36 | 0.06 | 0.41 | 0.13 | 3.20 | 0.04 | 0.04 | 7.81 | 7.82 | 7.90 | 7.75 | |
| | | V16 | 7.43 | 0.06 | 1.37 | 0.64 | 2.85 | 0.04 | 0.04 | 7.82 | 7.85 | 7.80 | 7.73 | |
| | | gjennomsnitt | 7.40 | 0.21 | 0.96 | 0.59 | 2.86 | 0.04 | 0.08 | 7.77 | 7.83 | 7.87 | 7.73 | |
| | | std. avvik | 0.04 | 0.27 | 0.50 | 0.43 | 0.34 | 0.01 | 0.08 | 0.08 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | |
| | | dCO2, reox | | | | | | | | | | | | |
| | | NO3+NO2 [µg N/l] | 911 | | | | | | | | | | | |
| | | $(C_{O_2}^n + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^i - \Delta C_{O_2, fukt}) \cdot V_{verk} \text{ [mg]}$ | 0.0 | 1.9 | | | | | | | | | | 10.06 |
| $N_{NOX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, fukt}) \cdot V_{vaskel} \cdot f_{O_2} \text{ [mg]}$ | | | | | | | | | | | | | | |
| $TOF_{rel} [gO_2 / gC] = \frac{(C_{O_2}^n + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{O_2, fukt}) \cdot V_{vaskel} - N_{NOX}}{C_{OC, fukt} \cdot V_{vaskel}}$ | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.31 | | | | | | | | | | | | | | |
| Bekke laget RA innløp | | | | | | | | | | | | | | |
| prøve 5.10.2010 | TOC [mg C/l] | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 05.10.2010 11.10.2010 15.10.2010 20.10.2010 02.11.2010 04.12.2010 | Væskevolum [l] | 0 | 6 | 10 | 15 | 28 | 35 | 57 | 60 | | | | | |
| | | B13 | 7.36 | 0.06 | 0.04 | 0.61 | 1.27 | 0.05 | 0.67 | 5.99 | 4.85 | 4.85 | 7.94 | |
| | | B14 | 7.40 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 4.81 | 0.05 | 4.85 | 7.77 | 7.78 | 7.59 | |
| | | B15 | 7.39 | 0.04 | 0.04 | 1.16 | 1.75 | 0.27 | 0.46 | 6.04 | 7.79 | 7.78 | 7.64 | |
| | | B16 | 7.40 | 0.04 | 0.05 | 1.45 | 1.59 | 0.25 | 0.59 | 6.33 | 7.79 | 7.74 | 7.62 | |
| | | gjennomsnitt | 7.40 | 0.04 | 0.04 | 0.89 | 1.13 | 1.78 | 0.37 | 5.67 | 7.78 | 7.74 | 7.60 | |
| | | std. avvik | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.74 | 0.94 | 2.63 | 0.28 | 0.90 | 0.01 | 0.04 | 0.04 | |
| | | dCO2, reox | | | | | | | | | | | | |
| | | NO3+NO2 [µg N/l] | 343 | | | | | | | | | | | |
| | | $(C_{O_2}^n + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^i - \Delta C_{O_2, fukt}) \cdot V_{verk} \text{ [mg]}$ | 0.0 | 1.92 | 4.07 | 6.06 | 7.89 | 9.58 | 11.51 | 12.18 | 6.86 | 6.48 | 5.90 | |
| $N_{NOX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, fukt}) \cdot V_{vaskel} \cdot f_{O_2} \text{ [mg]}$ | | | | | | | | | | | | | | |
| $TOF_{rel} [gO_2 / gC] = \frac{(C_{O_2}^n + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{O_2, fukt}) \cdot V_{vaskel} - N_{NOX}}{C_{OC, fukt} \cdot V_{vaskel}}$ | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.52 | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|--------------|
| blank kontroll utløp | | 05.10.2010 | 11.10.2010 | 02.11.2010 | 04.12.2010 | | |
| prøve 5.10.2010 | dag | 0 | 6 | 28 | 60 | | |
| | K13 | 7,84 | 7,13 | 6,7 | 6,32 | | |
| | K14 | 7,85 | 7,18 | 6,76 | 6,29 | | |
| | K15 | 7,87 | 7,13 | 6,78 | 6,32 | | |
| | gjennomsnitt | 7,86 | 7,16 | 6,77 | 6,31 | | |
| | std.awik | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | | |
| | dCblank | 0,00 | 0,71 | 1,09 | 1,56 | | |
| | dCblank, std.awik | - | 0,03 | 0,02 | 0,03 | | |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | 75 | | | 197 | | |
| VEAS utløp | | | | | | | |
| prøve 5.10.2010 | TOC [mg C/l] | 7,4 | | | | | |
| | C _{OC} , flaske | 3,7 | | | | | |
| | F, fortynningsfaktor | 2,00 | | | | | |
| | Væskevolum [l] | 0,29 | | | | | reoksigenert |
| | | 05.10.2010 | 11.10.2010 | 02.11.2010 | 04.12.2010 | | 02.11.2010 |
| | | 0 | 6 | 28 | 60 | | 28 |
| | V17 | 7,75 | 5,29 | 0,64 | 2,64 | | 7,61 |
| | V18 | 7,73 | 5,32 | 0,05 | 3,25 | | 7,64 |
| | V19 | 7,72 | 5,27 | 0,05 | 3,27 | | 7,62 |
| | V20 | 7,72 | 5,25 | 0,03 | 3,3 | | 7,59 |
| | gjennomsnitt | 7,72 | 5,28 | 0,04 | 3,27 | | 7,62 |
| | std.awik | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | | 0,03 |
| | dCO2, reox | | | | | | 7,57 |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | 725 | | | 2176 | | |
| | $(C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske}$ [mg] | 0,0 | 0,5 | | 3,04 | | |
| | $NOX = (C_{NO3+NO2}^{60d} - C_{NO3+NO2}^0 - \Delta C_{NO3+NO2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N}$ [mg] | | | | 1,76 | | |
| | $TOF_{OC} [gO_2 / gC] = \frac{(C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske} \cdot V_{væske}}$ | | | | 1,19 | | |
| Bekkelaget utløp | | | | | | | |
| prøve 5.10.2010 | TOC [mg C/l] | 7,5 | | | | | |
| | C _{OC} , flaske | 3,8 | | | | | |
| | F, fortynningsfaktor | 2,00 | | | | | |
| | Væskevolum [l] | 0,29 | | | | | reoksigenert |
| | | 07.01.1900 | 11.10.2010 | 02.11.2010 | 04.12.2010 | | 02.11.2010 |
| | | 0 | 6 | 28 | 60 | | 28 |
| | B17 | 7,8 | 6,12 | 0,16 | 2,81 | | 7,59 |
| | B18 | 7,75 | 6,08 | 3,01 | 0,15 | | 7,51 |
| | B19 | 7,78 | 6,11 | 1,1 | 0,46 | | 7,61 |
| | B20 | 7,76 | 6,15 | 1,07 | 0,43 | | 7,60 |
| | gjennomsnitt | 7,76 | 6,11 | 1,73 | 0,35 | | 7,57 |
| | std.awik | 0,02 | 0,04 | 1,11 | 0,17 | | 0,06 |
| | dCO2, reox | | | | | | 5,85 |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | 2 128 | | | 4 265 | | |
| | $(C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske}$ [mg] | 0,0 | 0,27 | 1,43 | 3,40 | | |
| | $NOX = (C_{NO3+NO2}^{60d} - C_{NO3+NO2}^0 - \Delta C_{NO3+NO2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N}$ [mg] | | | | 2,67 | | |
| | $TOF_{OC} [gO_2 / gC] = \frac{(C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske} \cdot V_{væske}}$ | | | | 0,67 | | |

Bestemmelse av TOFoc i sjøvann

| Prøve | Flaskenr | Prøvetakingdager og oksygenmålinger | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------|------------|------------|
| blank kontroll prøve 7.4.2011 | | 07.04.2011 | 12.04.2011 | 05.05.2011 | 06.06.2011 |
| | dag | 0 | 5 | 28 | 60 |
| | k1 | 7.82 | 7.42 | 6.97 | 6.04 |
| | k2 | 7.77 | 7.33 | 7.23 | 6.37 |
| | k3 | 7.69 | 7.36 | 7.14 | 6.33 |
| | gjennomsnitt | 7.73 | 7.35 | 7.19 | 6.35 |
| | std.avvik | 0.06 | 0.02 | 0.06 | 0.03 |
| | dCblank | 0.00 | 0.39 | 0.55 | 1.38 |
| | dCblank, std.avvik | - | 0.08 | 0.01 | 0.03 |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | 83 | | | 240 |
| Alna/Loelva prøve 7.4.2011 | TOC [mg C/l] | 6.6 | | | |
| | COC, flaske | 3.3 | | | |
| | F, fortynningsfaktor | 2.00 | | | |
| | Væskevolum [l] | 0.29 | | | |
| | | 07.04.2011 | 12.04.2011 | 05.05.2011 | 06.06.2011 |
| | | 0 | 5 | 28 | 60 |
| | A1 | 7.99 | 6.93 | 5.89 | 3.77 |
| | A2 | 7.99 | 6.98 | 6.01 | 4.20 |
| | A3 | 7.99 | 6.95 | 5.97 | 4.28 |
| | A4 | 7.94 | 6.94 | 6.07 | 3.88 |
| gjennomsnitt | 7.97 | 6.96 | 6.02 | 4.12 | |
| std.avvik | 0.03 | 0.02 | 0.05 | 0.21 | |
| dCO2, reox | | | | | |
| NO3+NO2 [µg N/l] | 757 | | | 986 | |
| $N_{OX} = (C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^t - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N} \text{ [mg]}$ | | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.7 |
| $N_{OX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N} \text{ [mg]}$ | | | | | 0.10 |
| $TOF_{OC} [g O_2 / g C] = \frac{(C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske} \cdot V_{væske}}$ | | | | | 0.65 |
| Gjersjøelva prøve 7.4.2011 | TOC [mg C/l] | 7.8 | | | |
| | COC, flaske | 3.9 | | | |
| | F, fortynningsfaktor | 2.00 | | | |
| | Væskevolum [l] | 0.29 | | | |
| | | 07.04.2011 | 12.04.2011 | 05.05.2011 | 06.06.2011 |
| | | 0 | 5 | 28 | 60 |
| | G1 | 8.00 | 7.57 | 7.27 | 5.93 |
| | G2 | 7.99 | 7.50 | 7.29 | 6.20 |
| | G3 | 7.98 | 7.53 | 7.21 | 6.17 |
| | G4 | 7.92 | 7.58 | 7.23 | 6.25 |
| gjennomsnitt | 7.96 | 7.54 | 7.24 | 6.21 | |
| std.avvik | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | |
| dCO2, reox | | | | | |
| NO3+NO2 [µg N/l] | 731 | | | 847 | |
| $N_{OX} = (C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^t - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N} \text{ [mg]}$ | | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| $N_{OX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N} \text{ [mg]}$ | | | | | 0.00 |
| $TOF_{OC} [g O_2 / g C] = \frac{(C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske} \cdot V_{væske}}$ | | | | | 0.10 |
| Sandvikselva prøve 7.4.2011 | TOC [mg C/l] | 7.6 | | | |
| | COC, flaske | 3.8 | | | |
| | F, fortynningsfaktor | 2.00 | | | |
| | Væskevolum [l] | 0.29 | | | |
| | | 07.04.2011 | 12.04.2011 | 05.05.2011 | 06.06.2011 |
| | | 0 | 5 | 28 | 60 |
| | S1 | 7.93 | 6.93 | 5.79 | 4.15 |
| | S2 | 7.94 | 6.89 | 5.78 | 4.38 |
| | S3 | 7.94 | 6.90 | 5.91 | 4.34 |
| | S4 | 7.91 | 6.88 | 5.83 | 4.38 |
| gjennomsnitt | 7.93 | 6.89 | 5.84 | 4.37 | |
| std.avvik | 0.02 | 0.01 | 0.07 | 0.02 | |
| dCO2, reox | | | | | |
| NO3+NO2 [µg N/l] | 756 | | | 920 | |
| $N_{OX} = (C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^t - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N} \text{ [mg]}$ | | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 |
| $N_{OX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N} \text{ [mg]}$ | | | | | 0.01 |
| $TOF_{OC} [g O_2 / g C] = \frac{(C_{O_2}^o + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske} \cdot V_{væske}}$ | | | | | 0.57 |

| Bestemmelse av TOFoc i spvann | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------|------|------|------|--|
| Prøve | Flaskenr | Prøvetakingdager og økylene målinger | | | | | | | | | | | |
| blank kontroll innløp prøve 25.7.2011 | | 25.07.2011 | 29.07.2011 | 22.08.2011 | 23.09.2011 | | | | | | | | |
| | dag | 0 | 4 | 28 | 60 | | | | | | | | |
| | k1 | 7.61 | 7.40 | 6.63 | 6.10 | | | | | | | | |
| | k2 | 7.54 | 7.43 | 6.69 | 6.19 | | | | | | | | |
| | k3 | 7.53 | 7.42 | 6.76 | 6.25 | | | | | | | | |
| | gjennomsnitt | 7.54 | 7.43 | 6.73 | 6.22 | | | | | | | | |
| | std. avvik | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 0.04 | | | | | | | | |
| | dBlank | 0.00 | 0.11 | 0.81 | 1.32 | | | | | | | | |
| | dBlank std. avvik | | | 0.06 | 0.05 | | | | | | | | |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | 124 | - | | 305 | | | | | | | | |
| VEAS innløp prøve 25.7.2011 | | | | | | | | | | | | | |
| | TOC [mg C/l] | 28.9 | | | | | | | | | | | |
| | COC, flasken | 5.8 | | | | | | | | | | | |
| | F, fortynningsfaktor | 5.00 | | | | | | | | | | | |
| | Væskevolum [l] | 0.29 | | | | | | | | | | | |
| | | 25.07.2011 | 29.07.2011 | 09.08.2011 | 22.08.2011 | 02.09.2011 | 12.09.2011 | 23.09.2011 | | | | | |
| | | 0 | 4 | 15 | 28 | 39 | 49 | 60 | 4 | 15 | 28 | 49 | |
| | V1 | 7.50 | 3.49 | 0.10 | 1.52 | 1.34 | 0.08 | 5.69 | 7.82 | 7.68 | 7.77 | 7.64 | |
| | V2 | 7.45 | 1.02 | 0.05 | 0.75 | 3.36 | 1.05 | 6.33 | 7.66 | 7.71 | 7.82 | 7.61 | |
| | V3 | 7.47 | 0.45 | 0.04 | 0.20 | 4.39 | 2.27 | 6.40 | 7.82 | 7.65 | 7.70 | 7.60 | |
| | V4 | 7.44 | 0.80 | 0.17 | 0.35 | 4.05 | 1.99 | 6.59 | 7.60 | 7.74 | 7.73 | 7.67 | |
| | gjennomsnitt | 7.45 | 0.76 | 0.09 | 0.43 | 3.93 | 1.77 | 6.44 | 7.69 | 7.70 | 7.75 | 7.63 | |
| | std. avvik | 0.02 | 0.23 | 0.07 | 0.28 | 0.52 | 0.64 | 0.13 | 0.11 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | |
| | dCO2, reox | | | | | | | | | | | | |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | 860 | | | | | | 1976 | 6.94 | 7.61 | 7.32 | 5.86 | |
| | $(C_{O_2}^v + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2} - \Delta C_{blanx}) \cdot V_{reakt}$ [mg] | | | | | | | | | | | | |
| | $N_{OX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blanx}) \cdot V_{essals} \cdot f_{ON}$ [mg] | | 0.0 | #REF! | | 8.14 | | 7.95 | | | | | |
| | $TOF_{OC} [\mu g O_2 / g C] = \frac{(C_{O_2}^v + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2} - \Delta C_{blanx}) \cdot V_{reakt} - N_{OX}}{C_{OC, blanke} \cdot V_{reakt}}$ | | | | | | | 4.00 | | | | | |
| Bakkelaget RA innløp prøve 25.7.2011 | | | | | | | | | | | | | |
| | TOC [mg C/l] | 37.9 | | | | | | | | | | | |
| | COC, flasken | 7.6 | | | | | | | | | | | |
| | F, fortynningsfaktor | 5.00 | | | | | | | | | | | |
| | Væskevolum [l] | 0.29 | | | | | | | | | | | |
| | | 25.07.2011 | 29.07.2011 | 09.08.2011 | 22.08.2011 | 02.09.2011 | 23.09.2011 | | | | | | |
| | | 0 | 4 | 15 | 28 | 39 | 60 | | 4 | 15 | 28 | 39 | |
| | B1 | 7.39 | 1.96 | 0.05 | 2.52 | 0.22 | 3.58 | | 7.54 | 7.63 | 7.66 | 7.57 | |
| | B2 | 7.40 | 0.76 | 0.05 | 2.69 | 0.36 | 3.22 | | 7.81 | 7.61 | 7.68 | 7.67 | |
| | B3 | 7.41 | 0.90 | 0.36 | 0.85 | 0.86 | 3.55 | | 7.82 | 7.56 | 7.63 | 7.65 | |
| | B4 | 7.40 | 0.34 | 0.04 | 1.73 | 0.21 | 3.15 | | 7.80 | 7.34 | 7.67 | 7.40 | |
| | gjennomsnitt | 7.40 | 0.67 | 0.15 | 1.76 | 0.48 | 3.31 | | 7.81 | 7.50 | 7.66 | 7.57 | |
| | std. avvik | 0.01 | 0.29 | 0.18 | 0.92 | 0.34 | 0.22 | | 0.01 | 0.14 | 0.03 | 0.15 | |
| | dCO2, reox | | | | | | | | | | | | |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | 488 | | | | | | 2285 | 7.14 | 7.35 | 5.90 | 7.10 | |
| | $(C_{O_2}^v + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2} - \Delta C_{blanx}) \cdot V_{reakt}$ [mg] | | | | | | | | | | | | |
| | $N_{OX} = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blanx}) \cdot V_{essals} \cdot f_{ON}$ [mg] | | 0.0 | 1.9 | | 1.4 | | 8.78 | | | | | |
| | $TOF_{OC} [\mu g O_2 / g C] = \frac{(C_{O_2}^v + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2} - \Delta C_{blanx}) \cdot V_{reakt} - N_{OX}}{C_{OC, blanke} \cdot V_{reakt}}$ | | | | | | | 2.14 | | | | | |
| | | | | | | | | 3.02 | | | | | |

| | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|----------------|
| blank kontroll utløp | | 25.07.2011 | 29.07.2011 | 22.08.2011 | 23.09.2011 | | | |
| prøve 25.7.2011 | dag | 0 | 4 | 28 | 60 | | | |
| | K4 | 7,65 | 7,64 | 7 | 6,53 | | | |
| | K5 | 7,63 | 7,62 | 7,08 | 6,55 | | | |
| | K6 | 7,62 | 7,63 | 7,09 | 6,54 | | | |
| | gjennomsnitt | 7,63 | 7,63 | 7,09 | 6,55 | | | |
| | std.awik | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | |
| | dCblank | 0,00 | 0,00 | 0,54 | 1,08 | | | |
| | dCblank, std.awik | - | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | | |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | 80 | | | 245 | | | |
| VEAS utløp | | | | | | | | |
| prøve 25.7.2011 | TOC [mg C/l] | 6,2 | | | | | | |
| | C _{OC} , flaske | 3,1 | | | | | | |
| | F, fortynningsfaktor | 2,00 | | | | | | |
| | Væskevolum [l] | 0,29 | | | | | | reoksigenerert |
| | | 25.07.2011 | 31.07.2011 | 22.08.2011 | 12.09.2011 | 23.09.2011 | | 12.09.2011 |
| | | 0 | 6 | 28 | 49 | 60 | | 49 |
| | V5 | 7,8 | 7,08 | 2,64 | 1,18 | 7,03 | | 7,67 |
| | V6 | 7,78 | 7,08 | 2,7 | 1,33 | 7,19 | | 7,70 |
| | V7 | 7,81 | 7,09 | 2,79 | 1,37 | 7,10 | | 7,64 |
| | V8 | 7,8 | 7,07 | 2,66 | 1,31 | 7,14 | | 7,66 |
| | gjennomsnitt | 7,80 | 7,08 | 2,72 | 1,34 | 7,14 | | 7,67 |
| | std.awik | 0,02 | 0,01 | 0,07 | | 0,04 | | 0,03 |
| | dCO2, reox | | | | | | | 6,33 |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | 485 | | | | 1572 | | |
| | $(C_{O_2}^c + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske}$ [mg] | 0,0 | 0,2 | | | 1,71 | | |
| | $NOX = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N}$ [mg] | | | | | 1,22 | | |
| | $TOF_{OC} [g O_2 / g C] = \frac{(C_{O_2}^c + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske} \cdot V_{væske}}$ | | | | | 0,55 | | |
| Bekkelaget utløp | | | | | | | | |
| prøve 5.10.2010 | TOC [mg C/l] | 8,0 | | | | | | |
| | C _{OC} , flaske | 4,0 | | | | | | |
| | F, fortynningsfaktor | 2,00 | | | | | | |
| | Væskevolum [l] | 0,29 | | | | | | reoksigenerert |
| | | 25.07.2011 | 31.07.2011 | 22.08.2011 | 23.09.2011 | | | 22.08.2011 |
| | | 0 | 6 | 28 | 60 | | | 28 |
| | B5 | 7,8 | 6,69 | 0,11 | 3,29 | | | 7,90 |
| | B6 | 7,82 | 6,68 | 0,07 | 4,21 | | | 7,78 |
| | B7 | 7,82 | 6,66 | 0,06 | 4,08 | | | 7,83 |
| | B8 | 7,81 | 6,65 | 0,06 | 4,19 | | | 7,84 |
| | gjennomsnitt | 7,82 | 6,66 | 0,06 | 4,16 | | | 7,82 |
| | std.awik | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | | | 0,03 |
| | dCO2, reox | | | | | | | 7,75 |
| | NO3+NO2 [µg N/l] | 2 020 | | | 3 490 | | | |
| | $(C_{O_2}^c + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske}$ [mg] | 0,0 | 0,3 | | 3,00 | | | |
| | $NOX = (C_{NO_3+NO_2}^{60d} - C_{NO_3+NO_2}^0 - \Delta C_{NO_3+NO_2, blank}) \cdot V_{væske} \cdot f_{O/N}$ [mg] | | | | 1,73 | | | |
| | $TOF_{OC} [g O_2 / g C] = \frac{(C_{O_2}^c + \Delta C_{O_2, reox} - C_{O_2}^{60d} - \Delta C_{blank}) \cdot V_{væske} - N_{OX}}{C_{OC, flaske} \cdot V_{væske}}$ | | | | 1,09 | | | |

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnærmingssmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no